



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Διπλωματική Εργασία

*Μελέτη απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of
Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT*

Συγγραφέας:

Παπαδημητρίου Ηλιάννα

A.M. 6170

Επιβλέπων:

Χρήστος Μπούρας, Καθηγητής

Συνεπιβλέπων Καθηγητής:

Απόστολος Γκάμας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέλη Επιτροπής Αξιολόγησης:

Γαροφαλλάκης Ιωάννης, Καθηγητής

Μπερμπερίδης Κωνσταντίνος, Καθηγητής

Πάτρα 2020

© Copyright συγγραφής Παπαδημητρίου Ηλιάνα, 2020

© Copyright θέματος Χρήστος Μπούρας

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το τέλος της προπτυχιακής μου φοίτησης στο τμήμα των Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής (ΤΜΗΥΠ) του Πανεπιστημίου Πατρών. Ο τίτλος της διπλωματικής μου εργασίας είναι **«Μελέτη απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT»**.

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής εργασίας για το αντικείμενο που μελετήσαμε καθώς και των συμπερασμάτων που καταλήξαμε, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Χρήστο Μπούρα, καθηγητή του ΤΜΗΥΠ στο Πανεπιστήμιο Πατρών και Επιστημονικό Υπεύθυνο της Μονάδας 6 του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων (ITYE) και πρόσφατα νέο Πρύτανη του Πανεπιστημίου Πατρών. Η καθοδήγηση του ήταν καθοριστική για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο κ. Γκάμα Απόστολο, αναπληρωτή καθηγητή της Ανώτατης Εκκλησιαστικής Ακαδημίας Βελλάς Ιωαννίνων, του οποίου οι πολύτιμες γνώσεις, γνώσεις, συμβουλές, καθοδήγηση, τα σχετικά σχόλια και η πολυετής εμπειρία με βοήθησαν σε μεγάλο βαθμό στην περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμη, αναγκαίο είναι να σταθώ και να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και φίλο Σπύρο, με τη βοήθεια του οποίου μέσα από συζητήσεις κατάφερα να διευρύνω τις γνώσεις μου σε ότι αφορά τα ασύρματα Narrowband δίκτυα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου, την αδερφή μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη, την ενθάρρυνση, την αγάπη και βοήθεια που μου παρείχαν απλόχερα όλα αυτά τα χρόνια καθώς αν δεν είχα την συμβολή και την ουσιαστική στήριξη τους σε αυτή μου την προσπάθεια, τότε δεν θα είχα φτάσει με επιτυχία στην ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών.

Πάτρα, 2020

Παπαδημητρίου

Ηλιάννα

Περίληψη

Είναι πλέον γεγονός πως η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από τους γρήγορους ρυθμούς εξέλιξης της τεχνολογίας και δεν χωρά αμφιβολία πως ο ερχομός του διαδικτύου έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο ζωής μας. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε αν αναλογιστούμε πως πλέον δεν έχουμε μόνο τα δίκτυα των προσωπικών μας υπολογιστών και εξυπηρετητών, αλλά και ένα πλήθος από συσκευές που πλέον μπορούν να συνδεθούν στο διαδίκτυο, κάτι που παλαιότερα δεν ήτανε εφικτό. Τέτοιες συσκευές είναι τα κινητά τηλέφωνα, οι φορητές συσκευές στα ρούχα κλπ.

Ένας τύπος δικτύων που πρόκειται να μας απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό στο κοντινό μέλλον είναι τα LPWAN, γνωστά ως δίκτυα χαμηλής ισχύος μεγάλης εμβέλειας. Η κύρια δυνατότητα αυτών των δικτύων είναι πως μπορούν να στέλνουν δεδομένα σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, καταναλώνοντας πολύ μικρή ενέργεια. Μία πολύ γνωστή τεχνολογία αυτού του τύπου είναι το NB-IoT, στο οποίο και εμείς θα εστιάσουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Όπως είπαμε, κύριο μέλημα αυτής της τεχνολογίας είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Στόχος μας λοιπόν είναι η μελέτη εις βάθος αυτής της τεχνολογίας καθώς και των στοιχείων που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας. Εμείς θα επικεντρωθούμε στη μελέτη της συμπεριφορά του uplink, του downlink και θα δώσουμε έμφαση στο BLER μέσω των υπαρχόντων εξομοιωτών.

Abstract

It's a worldwide fact that today's world is characterized by the rapid pace of technology and there is no doubt that the advent of Internet has radically changed our way of living. We can be aware of this, if we can consider that we do not only use our personal computers and server networks, but also a wide range of devices. These devices are able now to connect to the Internet, which was not possible in the past. This kind of devices are mobile phones, portable and wearable devices, etc.

One type of network that will be of a great concern in the near future is the so-called LPWANs networks (Low Power Wide Area Networks). The main feature of these networks is the fact that they can send data over very long distances with very low power consumption. A well-known technology of this type is the NB-IoT, on which I will focus on this dissertation. As we mentioned before, the main concern of this technology is its ability to have low energy consumption.

The purpose of this work is to study and examine in depth the particular technology as well as the elements that affect energy consumption. In addition, I will focus on studying the behavior of uplink, downlink and I will emphasize on BLER through existing simulators.

Μητρός τε και πατρός και των άλλων προγόνων απάντων τιμιώτερόν
εστίν η Πατρίς και σεμνότερον και αγιώτερον και εν μείζονι
μοίρα και παρά θεοίς και παρ' ανθρώποις
τοις νουν έχουσι.

Σωκράτης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	2
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	3
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : INTERNET OF THINGS (IoT).....	8
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	9
2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	9
2.3.1 ΣΤΡΩΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ	10
2.3.2 ΣΤΡΩΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ	10
2.3.3 ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	11
2.3.4 ΣΤΡΩΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	12
2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ	12
2.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ	12
2.6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ.....	13
2.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΡΑ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ NarrowBand IoT (NB-IoT)	16
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ NB-IoT	16
3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	17
3.3 ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ NB-IoT ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ	20
3.4 MAC ΕΠΙΠΕΔΟ NB-IoT	20
3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	21
3.6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.....	22
4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ eMTC ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	22
4.1.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ eMTC ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	22
4.1.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ eMTC	23
4.1.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ eMTC	24
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ. 26	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΞΥΠΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ NB-IoT	32
5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	32
5.2 ΕΞΥΠΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	33
5.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NB-IoT ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΟΥ NB-IoT	39

6.1	ΣΤΡΩΜΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ.....	39
6.2	ΣΤΡΩΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	40
6.3	ΣΤΡΩΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ NB-ΙοΤ		43
7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	43
7.2	NB-ΙοΤ DOWNLINK	43
7.2.1	NB-ΙοΤ DOWNLINK ΠΛΕΓΜΑ	44
7.2.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ NPDCCH/NPDSCH ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	46
7.2.3	NB-ΙοΤ DOWNLINK WAVEFORM ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	52
7.3	NB-ΙοΤ UPLINK	54
7.3.1	NPUSCH ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	54
7.3.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ NB-ΙοΤ UPLINK WAVEFORM ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	55
7.4	NB-ΙοΤ NPUSCH BLOCK ERROR RATE SIMULATION.....	57
7.4.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ NB-ΙοΤ NPUSCH BLER.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο : ΕΠΙΛΟΓΟΣ		63
8.1	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
8.2	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ	63
8.2.1	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ	63
8.2.2	ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ	64
8.2.3	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	64
8.2.4	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ.....	64
8.2.5	ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	64
8.2.6	ΧΡΟΝΟΣ.....	65
8.2.7	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		66

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Τμηματοποίηση της αγοράς IoT σε μαζικό και κριτικό IoT (1).....	2
Εικόνα 2: Αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών στο Διαδίκτυο (2).....	3
Εικόνα 3: Ασύρματα δίκτυα (4).....	5
Εικόνα 4: Internet of Things (6).....	8
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική IoT (8).....	10
Εικόνα 6: Μελλοντική ανάπτυξη και απαιτήσεις έρευνας (14).....	13
Εικόνα 7: Βασικά χαρακτηριστικά NB-IoT (20).....	17
Εικόνα 8: Εκτίμηση διάρκειας ζωής μπαταρίας (21).....	18
Εικόνα 9: Ανάπτυξη που υποστηρίζεται από το NB-IoT (22).....	19
Εικόνα 10: Δικτύωση του NB-IoT (23).....	19
Εικόνα 11: Σύγκριση μεταξύ NB-IoT και eMTC (24).....	26
Εικόνα 12: Τεχνολογία σύνδεσης του IoT το 2020 (24).....	27
Εικόνα 13: Σύγκριση μεταξύ NB-IoT και άλλων ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας: α) Σύγκριση διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας β) NB-IoT αντισταθμίσεις σχεδιασμού (24).....	28
Εικόνα 14: Σύγκριση απόδοσης του NB-IoT, Wi-Fi και LoRa (24).....	29
Εικόνα 15: Σύγκριση μεταξύ NB-IoT και LoRa (24).....	29
Εικόνα 16: Σύγκριση απόδοσης του LPWAN, 4G και 5G (24).....	30
Εικόνα 17: Έξυπνη εφαρμογή του NB-IoT (31).....	33
Εικόνα 18: Αρχιτεκτονική NB-IoT εφαρμογής (33).....	35
Εικόνα 19: 3GGP Αρχιτεκτονική Machine Type Communication (NB-IoT και LTE-M roaming) (35).....	37
Εικόνα 20: Σύγκριση ομοιότητας μεταξύ NB-IoT και παραδοσιακού IoT όσον αφορά τις απαιτήσεις ασφάλειας (24).....	39
Εικόνα 21: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Standalone/Port 2000).....	45
Εικόνα 22: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Inband-SamePCI/Port 2000).....	46
Εικόνα 23: NB-IoT Downlink RE Grid(NonAnchor/Standalone/Port 2000).....	48
Εικόνα 24: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/ Standalone/ Port 2000).....	49
Εικόνα 25: NB-IoT Downlink RE Grid(NonAnchor/Standalone/Port 2000) με 200 υποπλάισια.....	50
Εικόνα 26: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Standalone/Port 2000).....	50
Εικόνα 27: Αναλυτής φάσματος για N-TM.....	51
Εικόνα 28: Αναλυτής φάσματος για R.NB.5.....	51
Εικόνα 29: NB-IoT Downlink RE Grid(NonAnchor/ Standalone/ Port 2000).....	52
Εικόνα 30: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Standalone/Port 2000).....	53
Εικόνα 31: Αναλυτής φάσματος.....	53
Εικόνα 32: Δημιουργία slots σε μπλοκ για 3.75kHz.....	55
Εικόνα 33: NB-IoT Uplink RE Grid για 3.75kHz.....	56
Εικόνα 34: Δημιουργία slots σε μπλοκ για 15kHz.....	56
Εικόνα 35: NB-IoT Uplink RE Grid για 15kHz.....	57
Εικόνα 36: Δημιουργία 960 slots, BLER και Throughput.....	60
Εικόνα 37: Δημιουργία 3840 slots, BLER και Throughput.....	60
Εικόνα 38: Δημιουργία 7680 slots, BLER και Throughput.....	61
Εικόνα 39: NPUSCH Carrying Data.....	61

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Παράμετροι για το 1ο NPDCCH	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 2: Παράμετροι για το 2ο NPDCCH	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 3: Παράμετροι για το 3ο NPDCCH	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 4: Παράμετροι για το 1ο NPDSCH.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 5: Παράμετροι στο 2ο NPDSCH.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 6: Παράμετροι για το 3ο NPDSCH.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 7: Παράμετροι για το κενό μετάδοσης NPDSCH/NPDCCH	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 8: Πίνακας παραμέτρων NPUSCH για 3.75kHz	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 9: Πίνακας παραμέτρων NPUSCH για 15kHz	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 10: Βασικοί παράμετροι προσομοίωσης BLER	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Ακρωνυμία

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζουμε τις συντομογραφίες που έχουμε χρησιμοποιήσει στη παρούσα διπλωματική εργασία σε συνδυασμό με την επεξήγηση τους.

Συντομογραφίες	Επεξήγηση
EC-GSM-IoT	Extended Coverage GSM-IoT
MTC	Machine Type Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Service
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
LPWA	Low Power Wide Area
LPWAN	Low Power Wide Area Network
NB-IoT	NarrowBand Internet of Things
IoT	Internet of Things
IBM	International Business Machines
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
RFID	Radio Frequency Identification
MIT	Massachusetts Institute of Technology
IDC	International Data Corporation
LAN	Local Area Network
GSM	Global System for Mobile Communication
LTE	Long Term Evolution
GPRS	General Packet Radio Service
TTD	Time Division Duplex
4G	4 th Generation
IPSEC	Internet Protocol Security
SSL	Secure Socket Layer
eMTC	Enhanced Machine Type Communication
HD VoIP	High Definition Voice over Internet Protocol
FDD	Frequency Division Duplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
PDN	Packet Data Network
CIoT	Cellular Internet of Things
IPv6	Internet Protocol version 6
M2M	Machine to Machine
LTE-A	LTE Advanced
GPS	Global Position System
PSM	Power Saving MODE
eDRX	Extended Discontinuous Reception
LTE-M	LTE-Machine Type Communicaiton

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

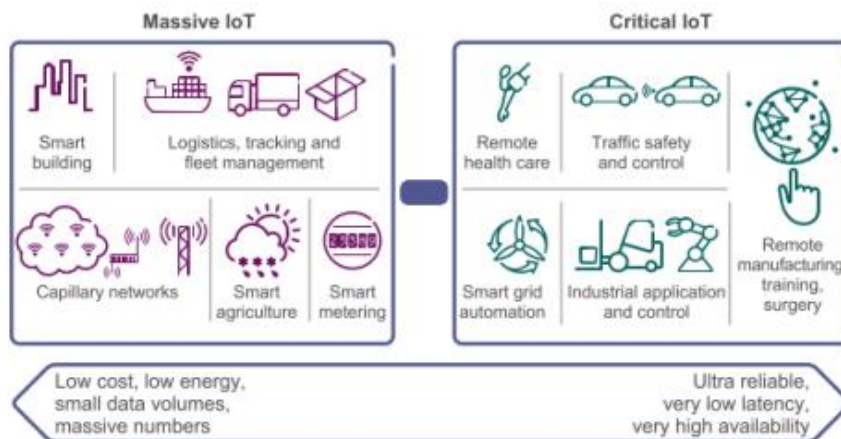
2G	2 nd Generation
5G	5 th Generation
UDP	User Datagram Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
VPN	Virtual Private Network
SMS	Short Message Service
IP	Internet Protocol
RE	Resource Element
PCI	Physical Cell Identity
CRS	Cell-specific Reference Signal
MIB-NB	NB-IoT master information block
BLER	Block Error Rate
AWGN	White Gaussian Noise
DRS	Demodulation Reference Signal
SNR	Single-to-Noise Ratio
RU	One Resource Unit

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στη σύγχρονη εποχή την οποία διανύουμε είναι ευρέως γνωστό πως το διαδίκτυο αποτελεί την πλέον κυρίαρχη διασυνδεδεμένη τεχνολογία η οποία εξελίσσεται με καλπάζοντες ρυθμούς. Με τον όρο διασυνδεδεμένες τεχνολογίες εννοούμε την επικοινωνία, όχι όμως απαραίτητα μεταξύ ανθρώπων αλλά και μηχανών. Εννοούμε δηλαδή, την διασύνδεση υπολογιστικών μηχανών μέσω τηλεπικοινωνιακών συστημάτων.

Με αυτό το τρόπο οδηγούμαστε σε έναν διαφορετικό τρόπο χρήσης του διαδικτύου ο οποίος επιτρέπει αυτόνομα αντικείμενα να συνδεθούν και μεταξύ τους αλλά και στο διαδίκτυο. Αυτός ο τρόπος ονομάζεται Internet of Things (IoT). Το IoT πρόκειται να καλύψει ένα μεγάλο κλάδο της βιομηχανίας με μία ποικιλία εφαρμογών. Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει την εφαρμογή του σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας.

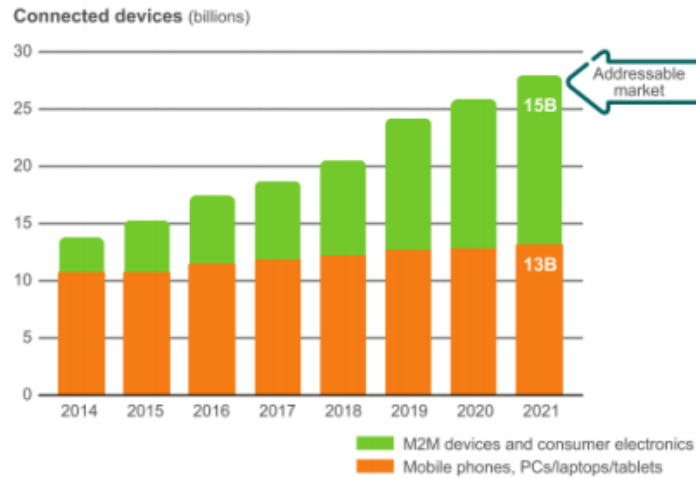


Εικόνα 1: Τμηματοποίηση της αγοράς IoT σε μαζικό και κρίσιμο IoT (1)

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο τμήματα: μαζικό IoT και κρίσιμο IoT. Στο πρώτο συγκαταλέγονται εφαρμογές οι οποίες περιλαμβάνουν την ανταλλαγή μικρών ποσοτήτων δεδομένων. Το πιο σημαντικό ωστόσο είναι πως περιλαμβάνει αρκετές αυτόνομες συσκευές. Για αυτό το λόγο, για να υπάρξει οικονομική βιωσιμότητα οι συσκευές αυτές πρέπει να έχουν μικρό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας, η οποία είναι 5 έως 10 χρόνια. Συνήθως ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης για τέτοιες εφαρμογές είτε δεν διευκρινίζεται είτε δεν είναι πολύ αυστηρός. Συνεπώς η τεχνολογία δικτύου που παρέχει διασύνδεση με τέτοιες συσκευές πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένη με τις απαιτήσεις αυτές και να παρέχει υψηλή χωρητικότητα. Από την άλλη, το κρίσιμο IoT, συνιστάται σε εφαρμογές κρίσιμου χρόνου, όπου η καθυστέρηση είναι της τάξης των milliseconds, όπως είναι οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις. Αυτές οι εφαρμογές είναι πασιφανές πως απαιτούν μεγάλη αξιοπιστία, διαθεσιμότητα και μικρές καθυστερήσεις.

Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό να τονίσουμε την αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών στο Internet, τόσο IoT όσο και μη-IoT. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αύξηση αυτή από το 2014 και προβλέψεις έως το 2021. Μπορούμε να διαπιστώσουμε πως έως το 2021 οι συσκευές που βασίζονται στο IoT θα

αντιστοιχούν σε 15 δισεκατομμύρια από τα συνολικά 28 δισεκατομμύρια συνδεδεμένα συστήματα.



Εικόνα 2: Αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών στο Διαδίκτυο (2)

Η επικοινωνία ωστόσο των συσκευών πρέπει να προσαρμόζεται σύμφωνα με την φύση των συσκευών αλλά και να καλύπτουν τις ανάγκες για τις οποίες σχεδιάστηκαν. Επομένως, μπορούμε να διαπιστώσουμε πως υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες αλλά και πρωτόκολλα για συσκευές που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις και διαφορετικές που αφορούν την επικοινωνία συσκευών σε μεγάλες αποστάσεις. Μία μεγάλη πρόκληση συνεπώς είναι να καταφέρουμε να μειώσουμε την κατανάλωση ισχύος των συσκευών και να αυξήσουμε την απόδοση με την χρήση αλγορίθμων, πρωτοκόλλων, υλικού και τεχνολογιών.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Σε πολλούς χρήστες φαίνεται ουτοπικό και καινοτόμο το γεγονός πως οι συσκευές έχουν την δυνατότητα να αλληλοεπιδρούν με μία μεγάλη γκάμα συσκευών καθώς επίσης και με το περιβάλλον γιατί θεωρούν πως η τεχνολογία αναπτύχθηκε βίαια στα πρόθυρα της νέας γενιάς του IoT. Αυτό όμως δεν υφίσταται καθώς η σκέψη του IoT αρχίζει ήδη να αναπτύσσεται σαν ιδέα από το 1950.

Στην αρχή, οι μηχανικοί της IBM είχαν την ανάγκη να δώσουν όνομα και ταυτότητα σε κάθε συσκευή που χρησιμοποιούσαν στην επιχείρηση. Έτσι οδηγήθηκαν στην ανακάλυψη των barcodes. Στην συνέχεια, νέοι πειραματισμοί τόσο από επιστήμονες όσο και από μηχανικούς, οδήγησαν στην δημιουργία μία καινοτόμας, για την εποχή εκείνη, hardware συσκευής που μπορείς να την φοράς στον καρπό σου. Η πρώτη πρωτοπόρα συσκευή δημιουργήθηκε από τον Edward O. Thorp το 1955, ο οποίος δημιούργησε ένα ρολόι, το οποίο μέσα από διάφορους αλγόριθμους είχε την δυνατότητα να προβλέψει πόσους κύκλους έκαναν οι ρουλέτες στο καζίνο του Las Vegas.

Στη συνέχεια το 1967, ο Hubert Urton, δημιούργησε την πρώτη συσκευή που είχε σχήμα μυωπικού γυαλιού, η οποία είχε την δυνατότητα να βοηθά τα άτομα με ειδικές ανάγκες να διαβάζουν τα χείλη των ανθρώπων. Από αυτή την ιδέα, ωστόσο εμπνεύστηκε και η εταιρία της Google, η οποία το 2011 δημιούργησε ένα καινούριο project με όνομα Google Glass και είχε πάρει στοιχεία από αυξημένη πραγματικότητα.

Η συνέχεια ήρθε 3 χρόνια αργότερα, όταν δημιουργήθηκε το δίκτυο ARPANET προκειμένου να συμβάλει στην επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ στρατιωτικών βάσεων με έδρα τις ΗΠΑ. Με αυτόν τον τρόπο στάλθηκε για πρώτη φορά μήνυμα μεταξύ υπολογιστών οι οποίοι ήταν απομακρυσμένοι. Αυτή η περίοδος χαρακτηρίστηκε ως εποχή δικτύωσης και ήταν η απαρχή της εποχής του Internet που διανύουμε. (3)

Έπειτα, το 1982 αποτέλεσε την γενιά του Internet καθώς και του πρωτοκόλλου TCP/IP, το οποίο πρώτα πέρασε από το στάδιο να γίνει πρότυπο. Με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο πολλά δίκτυα ενώνονται μεταξύ τους για να δημιουργηθεί το διαδίκτυο που γνωρίζουμε σήμερα.

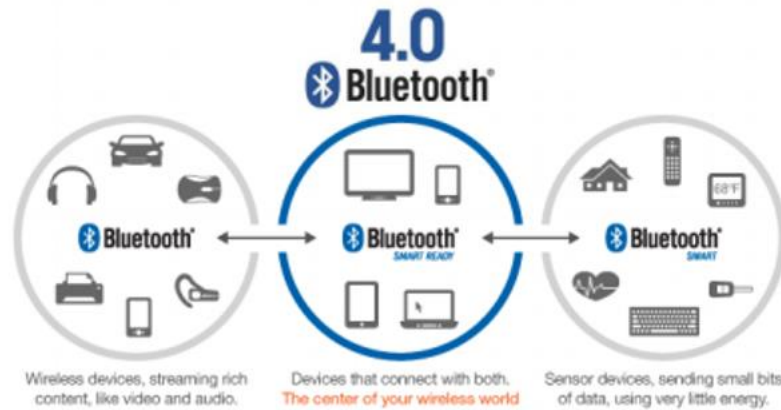
Η τεχνολογία του RFID, είναι η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί κατά βάση στην εποχή του IoT. Πρόκειται για τεχνολογία που θα επιτρέψει την ασύρματη και ταυτόχρονα παθητική ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων και πληροφοριών σε συσκευές. Η τεχνολογία αυτή ήρθε στην επιφάνεια τον Ιανουάριο του 1973 από τον Mario Cardullo. Ωστόσο το παράδοξο είναι πως η ευρεία χρήση της στον επιχειρησιακό τομέα ξεκίνησε το 2013 με πρωτοβουλία της πολυεθνικής Inditex, η οποία χρησιμοποίησε την τεχνολογία σε όλα τα καταστήματα της, και μετέπειτα με άλλες επιχειρήσεις, οι οποίες ασπάστηκαν το όραμα του IoT.

Μια δεκαετία αργότερα, φοιτητές του Πανεπιστημίου Carnegie Mellon της Pennsylvania υλοποίησαν ένα project επικοινωνίας το οποίο λεγόταν «machine to machine». Οι φοιτητές αυτοί λοιπόν, εγκατέστησαν ειδικούς μηχανισμούς προκειμένου να παρακολουθήσουν την θερμοκρασία των μηχανημάτων αυτόματων πολιτών που ήταν εγκατεστημένοι στο Πανεπιστήμιο μέσα από τερματικούς υπολογιστές.

Το 1999 το MIT δημιούργησε για πρώτη φορά το πρώτο κέντρο ερευνών με σύγχρονα συστήματα για πειράματα και έρευνες και σε διάρκεια 2 χρόνων ο David Brock ανακοίνωσε την ενσωμάτωση των Barcodes σε ένα νέο σύστημα που διέθετε πιο έξυπνους τρόπους ανάγνωσης πληροφοριών. Αυτός ο τρόπος είχε στόχο να επιτρέψει κυρίως στις τεχνολογίες RFID, Bluetooth αλλά και σε άλλες ασύρματες τεχνολογίες να τροποποιήσουν, να αναγνώσουν, να διαβάσουν και να γράψουν δεδομένα και πληροφορίες σε συσκευές και αντικείμενα, μέσω ενός RFID tag. Αυτό το καινούριο σύστημα πήρε την ονομασία EPC (Electronic Product Code). Ο Ashton εργαζόταν στην βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, προσπάθησε να τραβήξει το ενδιαφέρον της διοίκησης σε μια καινοτόμα τεχνολογία που είχε την ονομασία RFID. Τον επόμενο χρόνο το Auto ID Center άλλαξε την ονομασία του σε Auto ID Labs και υπήρξε το πρώτο υπερσύγχρονο δίκτυο ανάπτυξης και standardizing του IoT. Το όνομα του IoT δόθηκε και ανακοινώθηκε από τον Kevin Ashton στην τοποθεσία όπου βρισκόταν το Auto ID Center.

Έπειτα, το 2000 ένας υπάλληλος της IBM ο οποίος λεγόταν Andy Stanford μαζί με τον Arlen Nipper ο οποίος ήταν υπάλληλος της εταιρίας Eurotech, κατασκεύασαν το πρώτο πρωτόκολλο επικοινωνίας Machine to Machine, το οποίο προοριζόταν μόνο για συσκευές οι οποίες είναι διασυνδεδεμένες με τον ιστό. Ονόμασαν το πρωτόκολλο MQ Telemetry Transport (MQTT), και αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα προς την ενίσχυση της ιδέας για το IoT.

Το 2010 η τεχνολογία που αφορά το Bluetooth αναβαθμίζεται και έρχεται στον κόσμο της αγοράς και των επιχειρήσεων ένα νέο standard που ονομάζεται Smart Bluetooth ή αλλιώς Bluetooth Low Energy(BLE), και δίνει την δυνατότητα σε νέες εφαρμογές και συνδεδεμένες συσκευές και αντικείμενα από τους κάδους της υγείας, άθλησης, και της διασκέδασης στο σπίτι να εισέλθουν στον κόσμο του IoT.



Εικόνα 3: Ασύρματα δίκτυα (4)

Δύο χρόνια αργότερα, το πρωτόκολλο του IP άλλαξε έκδοση και με την νέα αυτή έκδοση έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει περισσότερες συσκευές, οι οποίες θα είναι γρηγορότερες και αποδοτικότερες σε θέματα διασύνδεσης. Ταυτόχρονα δίνει την υπόσχεση ότι θα μπορεί να υποστηρίξει τον γρήγορο ρυθμό ζήτησης για διευθύνσεις έως το 2128.

Τον Οκτώβριο του 2013, η IDC δημοσίευσε μια έρευνα που ανέφερε χαρακτηριστικά ότι το IoT θα κόστιζε \$8.900 δισεκατομμύρια στην αγορά το 2020. Ο όρος του IoT έγινε κατανοητός στον κόσμο της αγοράς, όταν η Google αγόρασε την Nest για \$3,2 δις η οποία επρόκειτο για μια εταιρία που κατασκεύαζε συσκευές IoT.

Τέλος, ένα άλλο χαρακτηριστικό επίτευγμα γίνεται το 2014 από την εταιρία της Apple, η οποία ανακοινώνει το HealthKit & HomeKit. Πρόκειται για δυο πλατφόρμες που έχουν στόχο να φέρουν την ιδέα του έξυπνου σπιτιού και του έξυπνου τρόπου ζωής στο σήμερα. Ακόμη, η τεχνολογία iBeacon έφερε καινοτόμα πρότυπα στην αγορά των καταστημάτων και της πώλησης. Δύο χρόνια αργότερα, τον Σεπτέμβριο του 2016, το Bluetooth Special Interest Group έφερε στην αγορά την καινούρια έκδοση νούμερο 5 του Bluetooth. Τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας επικεντρώθηκαν στην χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, την καλύτερη ταχύτητα και την μεγαλύτερη κάλυψη.

Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τα παραπάνω, τα κύρια στοιχεία που συνέβαλαν στην ανάπτυξη του IoT είναι η τεχνολογία του RFID και οι λοιπές τεχνολογίες διευθυνσιοδότησης. Ταυτόχρονα, το IPv6 θα δώσει την δυνατότητα κάθε αντικείμενο να έχει την δικιά του ξεχωριστή IP διεύθυνση, και αυτά τα αντικείμενα να «εισέλθουν» στο κόσμο του IoT. (5)

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Προκειμένου να επιτευχθούν και να υλοποιηθούν τα παραπάνω έχουν αναπτυχθεί και προταθεί διάφορες τεχνολογίες και πρωτόκολλα. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε τα SigFox, LoRa και NB-IoT. Κάθε ένα από αυτά προσπαθεί να επιλύσει τα παραπάνω προβλήματα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Εμείς, στην παρούσα διπλωματική εργασία θα επικεντρωθούμε στην μελέτη των διαφόρων εξομοιωτών δικτύων IoT που υπάρχουν στην βιβλιογραφία για την NB-IoT τεχνολογία με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης.

1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της διασύνδεσης των συσκευών, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο NB-IoT. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής κρίνεται απαραίτητο να γίνει μελέτη του διαθέσιμου εξομοιωτή προκειμένου να πραγματοποιήσουμε εξομοιώσεις διαφορετικών σεναρίων δικτύων IoT σε NB-IoT, καθώς η εξομοίωση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την μελέτη των χαρακτηριστικών των NB-IoT δικτύων.

Έτσι, στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει μία σύντομη ιστορική αναδρομή στο IoT, δίνουμε μερικούς ορισμούς αυτής της έννοιας και αναφέρουμε εφαρμογές που μπορούν να θεωρηθούν IoT και διαπιστώνουμε πως αυτή η έννοια έχει αλλάξει με το πέρασμα του χρόνου. Επιπλέον, μετά την ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτών των συσκευών, θα προβούμε στην εκτενή περιγραφή της αρχιτεκτονικής της ασύρματης αυτής τεχνολογίας, η οποία, όπως θα δούμε και στην συνέχεια αποτελείται από το στρώμα δικτύου, υπηρεσίας και εφαρμογής. Εν συνεχεία, θα γίνει αναφορά στις μελλοντικές εξελίξεις καθώς και στις προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η επιστημονική και τεχνολογική κοινότητα για να πετύχει την εδραίωση των τεχνολογιών αυτών με στόχο την βελτίωση της ποιότητας της ζωής μας. Τέλος, σε τελική ανάλυση θα γίνει αναφορά σε παραδείγματα εφαρμογών του IoT που χρησιμοποιούνται σήμερα σε διαφορετικούς κλάδους της καθημερινής μας ζωής.

Στο κεφάλαιο 3, θα επικεντρωθούμε στις ασύρματες τεχνολογίες που υποστηρίζουν το IoT. Συγκεκριμένα, θα δώσουμε μεγάλη έμφαση σε μία μεγάλη και αναδυόμενη τεχνολογία, αυτή του NB-IoT, η οποία ανήκει στην κατηγορία των LPWAN δικτύων. Αρχικά θα γίνει μία σύντομη αναφορά στην τεχνολογία αυτή και θα αναφέρουμε την πρώτη εφαρμογή που έχει καταγραφεί και μπορεί να ονομαστεί ως NB-IoT. Σε πρώτη φάση, θα γίνει παρουσίαση των χαρακτηριστικών που αποτελούν αυτή την τεχνολογία, όπως η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η μεγάλη εμβέλεια και θα μελετήσουμε εκτενώς το φυσικό και mac επίπεδο τους με τα αντίστοιχα σήματα τους. Σε δεύτερη φάση θα γίνει παρουσίαση τόσο του τρόπου λειτουργίας της όσο και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που κατέχει

Στο κεφάλαιο 4, θα παρουσιάσουμε τις διάφορες τεχνολογίες που υπάρχουν διαθέσιμες στην βιβλιογραφία. Θα γίνει μία σύγκριση μεταξύ αυτών των τεχνολογιών σε διάφορα επίπεδα, όπως για παράδειγμα το κόστος, την κατανάλωση ενέργειας ή και το είδος των εφαρμογών που μπορεί να υποστηρίξει η κάθε μία τεχνολογία καλύτερα.

Στο κεφάλαιο 5, θα σταθούμε στις εφαρμογές που υπάρχουν σήμερα και βασίζονται στην NB-IoT τεχνολογία αλλά και στην αρχιτεκτονική της. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε σε υπηρεσίες που αφορούν την αναβάθμιση λογισμικού, δικτύου αλλά και σε εφαρμογές NB-IoT που μπορούν να υποστηριχτούν σε έξυπνες πόλεις, έξυπνα κτήρια, έξυπνο περιβάλλον, έξυπνες μετρήσεις και έξυπνα αντικείμενα που μπορεί να διαθέτει ένας άνθρωπος. Τέλος, θα δώσουμε εστίασουμε στην αρχιτεκτονική της τεχνολογίας αυτής και θα αναφέρουμε τα δομικά της στοιχεία.

Το κεφάλαιο 6 αναφέρει τις απαιτήσεις ασφάλειας του NB-IoT, οι οποίες επικεντρώνονται κυρίως στον εξοπλισμό υλικού του IoT με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, τον τρόπο επικοινωνίας δικτύου και τις πραγματικές απαιτήσεις υπηρεσίας. Η ανάλυση μας παρουσιάζει τις απαιτήσεις ασφάλειας του NB-IoT που στοχεύουν στην αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων που αποτελείται από το στρώμα αντίληψης, το στρώμα μετάδοσης και το στρώμα εφαρμογής.

Το κεφάλαιο 7 ασχολείται με την εξομοίωση δικτύων NB-IoT. Αναλυτικότερα, γίνονται μία επεξήγηση της τεχνολογίας που χρησιμοποιήσαμε με βάση των

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

εξομοιωτών που υπάρχουν διαθέσιμοι στην βιβλιογραφία. Θα γίνει μία ενδελεχή προσομοίωση σεναρίων εξομοίωσης με βάση των χαρακτηριστικών του σε επίπεδο downlink, uplink αλλά και BLER. Τέλος, θα γίνει μία παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών των προσομοιώσεων.

Εν κατακλείδι , στο κεφάλαιο 8, θα γίνει μία σύνοψη της παρούσας εργασίας, θα παραθέσουμε τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μέσα από την μεγάλη και λεπτομερή μελέτη που κάναμε, αυτού του μεγάλου, πολλά υποσχόμενου και σύγχρονου κλάδου και θα γίνει μία παρουσίαση των ανοιχτών ερευνητικών προκλήσεων, εξελίξεων και πρακτικών θεμάτων τα οποία θα αποτελέσουν το αντικείμενο ενασχόλησης και μελέτης τα επόμενα χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: INTERNET OF THINGS (IoT)

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιδέα του IoT, όπως αναφέραμε, δημιουργήθηκε από ένα μέλος της Αναγνώρισης Συχνότητας Ραδιοφώνου(RFID) το 1999, και πρόσφατα έχει γίνει ευρέως γνωστό στον πρακτικό κόσμο λόγω της ανάπτυξης των κινητών συσκευών, της ενσωματωμένης και πανταχού παρούσας επικοινωνίας, το cloud computing και την ανάλυση δεδομένων. Ας φανταστούμε έναν κόσμο όπου δισεκατομμύρια αντικείμενα μπορούν να αισθανθούν, να επικοινωνούν και να μοιράζονται πληροφορίες, όλα διασυνδεδεμένα με δημόσια ή ιδιωτικά IP. Αυτά τα διασυνδεδεμένα αντικείμενα συλλέγουν τακτικά δεδομένα, αναλύονται και χρησιμοποιούνται για να ξεκινήσουν δράση, παρέχοντας πληθώρα πληροφοριών για το σχεδιασμό, τη διαχείριση και τη λήψη αποφάσεων. Αυτός είναι ο κόσμος του IoT.

Το IoT είναι ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων. Το Διαδίκτυο είναι όχι μόνο ένα δίκτυο υπολογιστών, αλλά έχει εξελιχθεί σε ένα δίκτυο από συσκευές όλων των τύπων και μεγεθών όπως οχήματα, έξυπνα κινητά, οικιακές συσκευές, παιχνίδια, κάμερες, ιατρικά όργανα, βιομηχανικά συστήματα, ζώα, ανθρώπους, κτήρια, όλα αυτά συνδεδεμένα μεταξύ τους και επικοινωνούν μοιράζοντας πληροφορίες, τα οποία βασίζονται σε καθορισμένα πρωτόκολλα για την επίτευξη έξυπνων αναδιοργανώσεων, τον εντοπισμό, την ασφάλεια, τον έλεγχο, ακόμη και την online παρακολούθηση.



Εικόνα 4: Internet of Things (6)

Μπορούμε να ορίσουμε το IoT ως τρεις κατηγορίες: άνθρωπος σε άνθρωπο, άνθρωπος σε μηχανή και μηχανή σε μηχανή. Επομένως, είναι εύκολο να διαπιστώσουμε πως το IoT είναι μία ιδέα η οποία παρέχει στο περιβάλλον μία ποικιλία πραγμάτων και αντικειμένων τα οποία μέσω ασύρματων και ενσύρματων δικτύων και συνδέσεων μπορούν να αλληλεπιδράσουν και να επικοινωνήσουν με άλλα αντικείμενα για την δημιουργία νέων εφαρμογών και υπηρεσιών. Στο πλαίσιο αυτό, οι προκλήσεις που αναπτύσσονται για την δημιουργία ενός έξυπνου κόσμου είναι τεράστιες. Έτσι δημιουργείται ένας κόσμος όπου η πραγματική, ψηφιακή και εικονική πραγματικότητα ενώνονται για να δημιουργήσουν νέες ενέργειες, μεταφορές, έξυπνες πόλεις και πολλούς άλλους έξυπνους τομείς.

Το IoT αποτελεί την καινούρια επανάσταση στο χώρο του Διαδικτύου. Τα αντικείμενα γίνονται από μόνα τους αναγνωρίσιμα, αποκτούν την δική τους νοημοσύνη παίρνοντας αποφάσεις για τον ίδιο τους τον εαυτό. Μπορούν να έχουν πρόσβαση σε άλλες υπηρεσίες ή ακόμη και να αποτελούν τα ίδια τμήματα άλλων σύνθετων υπηρεσιών. Ο κύριος στόχος του IoT είναι να επιτρέψει στα αντικείμενα να συνδέονται οποτεδήποτε,

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

οπουδήποτε και με κάθε άλλου είδους αντικειμένων, ιδανικά χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε δίκτυο ή υπηρεσία.

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

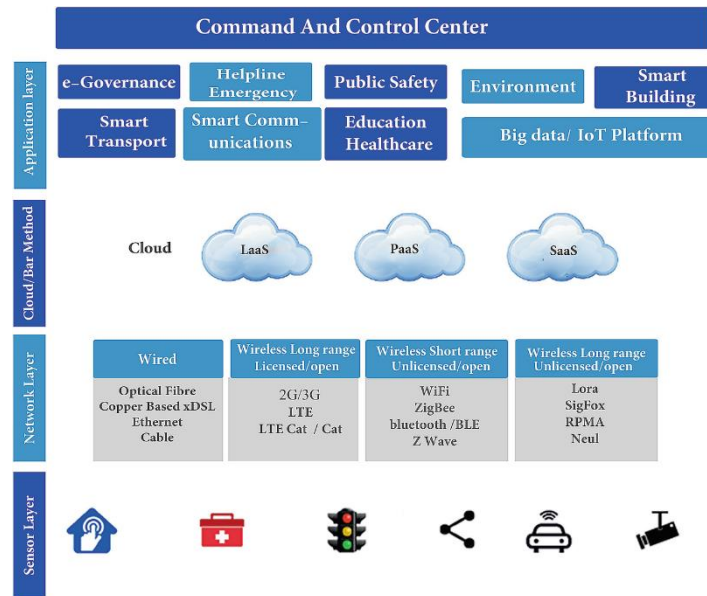
Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT είναι τα εξής:

- Διασυνδεσιμότητα: Όσον αφορά το IoT, οτιδήποτε μπορεί να διασυνδεθεί με την παγκόσμια πληροφορία και την επικοινωνιακή υποδομή.
- Παροχές που σχετίζονται με τα αντικείμενα: Το IoT είναι σε θέση να παρέχει προστασία της ιδιωτικής ζωής, συνοχή και ροή μεταξύ των φυσικών προσώπων και των εικονικών με τα οποία σχετίζονται.
- Ετερογένεια: Οι συσκευές στο IoT είναι ετερογενείς καθώς βασίζονται σε διαφορετικές πλατφόρμες και δίκτυα υλικού. Μπορούν να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών μέσω διαφορετικών δικτύων.
- Δυναμικές αλλαγές: Η κατάσταση των συσκευών αλλάζει δυναμικά. Για παράδειγμα μπορούμε να θέσουμε τις συσκευές σε κατάσταση ύπνου, να τις συνδέσουμε, να τις αποσυνδέσουμε, ακόμη και να προσαρμόσουμε την τοποθεσία και την ταχύτητα.
- Τεράστια κλίμακα: Ο αριθμός των συσκευών που θα πρέπει να διαχειριστούν και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους θα είναι σαφώς μεγαλύτερος από τον αριθμό που συνδέονται στο υπάρχον Internet. Ακόμη πιο σημαντική και κρίσιμη θα είναι η διαχείριση των δεδομένων με σκοπό την σωστή εφαρμογή τους. Αυτό σχετίζεται με την σημασιολογία των δεδομένων καθώς και με τον αποτελεσματικό χειρισμό των δεδομένων.
- Ασφάλεια: Είναι γεγονός πως αποκομίζουμε πολλαπλά οφέλη από το IoT. Ωστόσο, αυτό που δεν πρέπει να ξεχνάμε είναι η ασφάλεια. Τόσο οι δημιουργοί όσο και οι παραλήπτες, θα πρέπει να σχεδιάζουν με στόχο την ασφάλεια. Αυτό περιλαμβάνει την ασφάλεια των προσωπικών μας δεδομένων αλλά και την ασφάλεια της προσωπικής μας ευεξίας. Ασφαλίζοντας τα τελικά σημεία, τα δίκτυα και τα δεδομένα που υπάρχουν στο IoT, δημιουργούμε ένα στρώμα ασφάλειας το οποίο θα γίνεται ισχυρότερο.
- Συνδεσιμότητα: Η δυνατότητα σύνδεσης επιτρέπει την προσβασιμότητα του δικτύου και τη συμβατότητα. Η προσβασιμότητα γίνεται σε δίκτυο ενώ η συμβατότητα παρέχει την κοινή δυνατότητα παραγωγής και κατανάλωσης δεδομένων. (7)

2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η αρχιτεκτονική IoT αποτελείται από διαφορετικά επίπεδα τεχνολογιών. Χρησιμεύει για να δείξει πως διαφορετικές τεχνολογίες συσχετίζονται μεταξύ τους προκειμένου να επικοινωνήσουν και να διαμορφώσουν διάφορες εφαρμογές IoT σε πολλαπλά σενάρια. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την λεπτομερή αρχιτεκτονική του IoT.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική IoT (8)

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε την λειτουργικότητα κάθε στρώματος, η οποία φαίνεται στην συνέχεια. (9)

2.3.1 ΣΤΡΩΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

Το στρώμα αισθητήρα ή αλλιώς η έξυπνη συσκευή αποτελεί το χαμηλότερο επίπεδο και αποτελείται από έξυπνα αντικείμενα που είναι ενσωματωμένα στους αισθητήρες. Οι αισθητήρες επιτρέπουν την διασύνδεση του φυσικού και ψηφιακού κόσμου, επιτρέποντας την real-time πληροφορία να συλλεχθεί και να υποστεί επεξεργασία. Υπάρχει μία ποικιλία αισθητήρων και κάθε ένας από αυτούς εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς. Οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να παίρνουν μετρήσεις, όπως η θερμοκρασία, η ποιότητα του αέρα, η ταχύτητα, η υγρασία, η πίεση, η ροή, η κίνηση και η ηλεκτρική ενέργεια κ.λπ. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου οι αισθητήρες διαθέτουν κάποιο βαθμό μνήμης και αυτό τους επιτρέπει να καταγράφουν έναν αριθμό μετρήσεων. Ένας αισθητήρας μπορεί να μετρήσει την φυσική ιδιότητα και να την μετατρέψει σε σήμα το οποίο μπορεί να γίνει κατανοητό από κάποιο όργανο. Οι αισθητήρες ομαδοποιούνται σύμφωνα με τον σκοπό τον οποίο εξυπηρετούν. Υπάρχουν αισθητήρες περιβάλλοντος, αισθητήρες σώματος, αισθητήρες οικιακής συσκευής, αισθητήρες οχημάτων τηλεματικής κ.λπ.

Οι περισσότεροι αισθητήρες απαιτούν συνδεσιμότητα στις πύλες αισθητήρων. Αυτό μπορεί να έχει την μορφή ενός τοπικού δικτύου(LAN), όπως συνδέσεις Ethernet, Wi-Fi ή Personal Area Network(PAN) όπως ZigBee, Bluetooth και Ultra Wideband (UWB). Για τους αισθητήρες που δεν απαιτούν συνδεσιμότητα στους συσσωρευτές αισθητήρων, η συνδεσιμότητα στους backend διακομιστές ή στις εφαρμογές μπορεί να παρέχεται με Wide Area Network(WAN), όπως GSM, LTE και GPRS. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλή συνδεσιμότητα ρυθμού δεδομένων, σχηματίζουν δίκτυα τα οποία ονομάζονται ασύρματα δίκτυα αισθητήρων τα οποία γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς καθώς μπορούν να φιλοξενήσουν πολύ περισσότερους κόμβους αισθητήρων ενώ ταυτόχρονα διατηρούν επαρκή διάρκεια ζωής μπαταρίας και καλύπτουν μεγάλες περιοχές.

2.3.2 ΣΤΡΩΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε αυτό το στρώμα έχουμε πύλες και δίκτυα. Εδώ υπάρχουν μικροσκοπικοί αισθητήρες οι οποίοι παράγουν μαζικό όγκο δεδομένων και αυτό απαιτεί ισχυρή και υψηλή απόδοση ενσύρματης ή ασύρματης υποδομής δικτύου ως μέσο μεταφοράς. Τα υπάρχοντα δίκτυα, είναι συχνά συνδεδεμένα με πολύ διαφορετικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη δικτύων μηχανής προς μηχανή (M2M) και για τις εφαρμογές τους. Ωστόσο αξίζει να σημειώσουμε πως υπάρχει μεγάλη ζήτηση και απαίτηση προκειμένου να εξυπηρετηθεί ένα ευρύτερο φάσμα των υπηρεσιών IoT καθώς και των εφαρμογών τους, όπως η υψηλή ταχύτητα στις υπηρεσίες συναλλαγών, στις context-aware εφαρμογές κ.λπ. Πολλαπλά δίκτυα με διάφορες τεχνολογίες και πρωτόκολλα πρόσβασης είναι απαραίτητο να συνεργάζονται μεταξύ τους σε ένα ετερογενές επίπεδο. Αυτά τα δίκτυα μπορούν να βρίσκονται στο μορφή ενός ιδιωτικού, δημόσιου ή υβριδικού μοντέλου και είναι κατασκευασμένα για υποστηρίζουν τις απαιτήσεις επικοινωνίας για την καθυστέρηση, το εύρος ζώνης και την ασφάλεια.

2.3.3 ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Η υπηρεσία διαχείρισης πραγματοποιεί την επεξεργασία πληροφορίας μέσω αναλυτικών στοιχείων, ελέγχων ασφαλείας, μοντελοποίησης και διαχείρισης των συσκευών. Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του στρώματος υπηρεσίας διαχείρισης είναι οι μηχανισμοί επιχειρηματικών κανόνων και διαδικασιών. Το IoT φέρνει την σύνδεση και την αλληλεπίδραση των συσκευών και των συστημάτων παρέχοντας πληροφορίες με την μορφή γεγονότων ή δεδομένων όπως είναι η θερμοκρασία των προϊόντων, η τρέχουσα τοποθεσία και τα δεδομένα κίνησης. Ορισμένα από αυτά τα δεδομένα απαιτούν φιλτράρισμα ή δρομολόγηση σε συστήματα μετά την επεξεργασία, όπως η λήψη περιοδικών δεδομένων αισθητήρων, ενώ άλλα απαιτούν άμεση ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως είναι οι περιπτώσεις ασθένειας. Οι μηχανισμοί υποστηρίζουν το μοντέλο των λογικών αποφάσεων και ενεργοποιούν διαδραστικές και αυτόνομες διαδικασίες για την ενεργοποίηση περισσότερων IoT συστημάτων.

Όσον αφορά τον τομέα της ανάλυσης, μία μεγάλη ποικιλία εργαλείων χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποσπάσουν πληροφορίες από τον τεράστιο όγκο ανεπεξέργαστων δεδομένων και να υποβάλλονται σε επεξεργασία με πολύ ταχύτερο ρυθμό. Τα αναλυτικά στοιχεία επιτρέπουν την μεγάλη αποθήκευση δεδομένων σε μνήμες τυχαίας προσπέλασης(RAM) και έτσι αποφεύγεται η αποθήκευση σε δίσκους. Τα αναλυτικά στοιχεία που διαθέτουν μνήμη αυξάνουν την ταχύτητα λήψης αποφάσεων. Τα αναλυτικά στοιχεία ροής είναι μια άλλη μορφή ανάλυσης όπου η ανάλυση δεδομένων θεωρείται ως δεδομένα σε κίνηση, και είναι απαραίτητο να εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε οι αποφάσεις μπορούν να γίνουν μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

Η διαχείριση δεδομένων είναι η δυνατότητα διαχείρισης πληροφοριών δεδομένων ροής. Με τη διαχείριση δεδομένων στο επίπεδο υπηρεσιών διαχείρισης, οι πληροφορίες είναι προσπελάσιμες, ενσωματωμένες και ελεγχόμενες. Εφαρμογές που βρίσκονται σε υψηλότερο στρώμα μπορούν να προστατευθούν από την ανάγκη επεξεργασίας περιττών δεδομένων και αυτό να βοηθήσει στην μείωση του κινδύνου αποκάλυψης του απορρήτου των δεδομένων. Οι τεχνικές φιλτραρίσματος δεδομένων, όπως η ανώνυμη επεξεργασία δεδομένων, η ενσωμάτωση δεδομένων και ο συγχρονισμός δεδομένων χρησιμοποιούνται για να κρύψουν λεπτομέρειες των πληροφοριών με σκοπό να παρέχονται μόνο βασικές πληροφορίες που είναι χρήσιμες για την εκάστοτε εφαρμογή. Με τη χρήση της άντλησης δεδομένων, οι πληροφορίες μπορούν να

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

εξάγονται προκειμένου να αποκτήσουν μεγαλύτερη ευκινησία και να επαναχρησιμοποιούνται σε όλους τους τομείς. (10)

Η ασφάλεια πρέπει να εδραιωθεί σε όλη την αρχιτεκτονική του IoT, ξεκινώντας από το χαμηλότερο στρώμα και καταλήγοντας στο υψηλότερο. Η ασφάλεια του συστήματος εμποδίζει τις επιθέσεις hacking, και την επίθεση από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες και αντικείμενα μειώνοντας έτσι τους πιθανούς κινδύνους.

2.3.4 ΣΤΡΩΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η εφαρμογή IoT καλύπτει τα "έξυπνα" περιβάλλοντα και τους "έξυπνους" χώρους σε τομείς όπως: Μεταφορές, Κτίρια, Πόλεις, Lifestyle, λιανική πώληση, γεωργία, εργοστάσιο, αλυσίδα εφοδιασμού, έκτακτης ανάγκης, υγεία, αλληλεπίδραση χρηστών, πολιτισμός και τουρισμός, περιβάλλον και ενέργεια. (11)

2.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Η ιδέα του IoT αναφέρεται σε μοναδικά αναγνωρίσιμα αντικείμενα με τις εικονικές αναπαραστάσεις τους στον κόσμο του Διαδικτύου τη δομή και οι λύσεις IoT που προσφέρουν περιλαμβάνουν έναν σημαντικό αριθμό από συστατικά όπως:

- Ενότητα για αλληλεπίδραση με τοπικές IoT συσκευές. Αυτή η ενότητα είναι υπεύθυνη για την συλλογή πληροφοριών και την αποστολή τους σε απομακρυσμένους διακομιστές με σκοπό την ανάλυση και τη μόνιμη αποθήκευση.
- Μονάδα τοπικής ανάλυσης και επεξεργασία πληροφοριών που έχουν αποκτηθεί από συσκευές IoT.
- Ενότητα για αλληλεπίδραση με απομακρυσμένες συσκευές IoT, απευθείας με το διαδίκτυο. Αυτή η ενότητα είναι υπεύθυνη για την απόκτηση πληροφοριών και την αποστολή τους σε απομακρυσμένους διακομιστές για ανάλυση και μόνιμη αποθήκευση.
- Ενότητα για εφαρμογή ανάλυσης και επεξεργασίας συγκεκριμένων δεδομένων. Αυτή η ενότητα λειτουργεί σε διακομιστή εφαρμογών που εξυπηρετεί όλους τους πελάτες. Λαμβάνει αιτήματα από κινητές και διαδικτυακές υπηρεσίες και τις σχετικές πληροφορίες του IoT ως εισόδους, και στη συνέχεια εκτελεί κατάλληλους αλγόριθμους επεξεργασίας δεδομένων και παράγει αποτελέσματα από πλευράς γνώσεων που παρουσιάζονται αργότερα στους χρήστες.
- Διεπαφή χρήστη (web ή κινητό): Περιλαμβάνει την οπτική αναπαράσταση των μετρήσεων σε δεδομένο πλαίσιο (για παράδειγμα σε χάρτη) και την αλληλεπίδραση με τον χρήστη, δηλαδή ορισμό των ερωτημάτων και των προβλημάτων των χρηστών. (12)

2.5 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

Η ανάπτυξη τεχνολογιών που επιτρέπουν την ανάπτυξη, όπως οι ηλεκτρονικοί ημιαγωγοί, επικοινωνίες, αισθητήρες, έξυπνα τηλέφωνα, ενσωματωμένα συστήματα, δίκτυα cloud, εικονικά δίκτυα και το λογισμικό θα είναι απαραίτητα για να επιτρέψουν τις φυσικές συσκευές να λειτουργούν σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα και να μπορούν να συνδέονται συνεχώς και παντού. Όπως είπαμε η αρχιτεκτονική IoT μπορεί να χωριστεί σε στρώματα. Έτσι μπορούμε να χωρίσουμε και σε ομάδες τις τεχνολογίες.

Η πρώτη ομάδα τεχνολογιών επηρεάζει τις συσκευές και τα τσιπ μικροεπεξεργαστών:

- Χαμηλής ισχύος αισθητήρες για καλύτερη σταθερότητα της ισχύος και της ενέργειας.
- Τεχνητή νοημοσύνη στις συσκευές.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

- Οι μικροεπεξεργαστές γίνονται ολοένα και μικρότεροι.
- Τα δίκτυα των αισθητήρων είναι ασύρματα για να υπάρχει παντού σύνδεση.

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τεχνολογίες οι οποίες που υποστηρίζουν κοινή χρήση δικτύου για την αντιμετώπιση προβλημάτων στις καθυστερήσεις χρόνου όπως είναι το LTE και το LTE-A.

Η τρίτη ομάδα επηρεάζει τις υπηρεσίες διαχείρισης που υποστηρίζουν τις IoT εφαρμογές.

- Ευφυείς τεχνολογίες που συμμετέχουν στην λήψη αποφάσεων, όπως η προγνωστική ανάλυση, επεξεργασία σύνθετου συμβάντος και ανάλυση συμπεριφοράς.
- Τεχνολογίες που βασίζονται στην ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων όπως οι αναλύσεις συνεχούς ροής.

Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει τις μελλοντικές ανάγκες ανάπτυξης και της μελλοντικής έρευνας για τεχνολογίες IoT. (13)

TECHNOLOGY	FUTURE DEVELOPMENT	RESEARCH NEEDS
Hardware Devices	<ul style="list-style-type: none"> •Nanotechnology •Miniaturization of chipsets •Ultra low power circuits 	<ul style="list-style-type: none"> •Low cost modular devices •Ultra low power EPROM/FRAM •Autonomous circuits
SENSOR	<ul style="list-style-type: none"> •Smart sensors (bio-chemical) •More sensors (tiny sensors) •Low power sensors •Wireless sensor network for sensor connectivity 	<ul style="list-style-type: none"> •Self powering sensors • Intelligence of sensors
Communication Technology	<ul style="list-style-type: none"> •On chip antennas •Wide spectrum and spectrum aware protocols •Unified protocol over wide Spectrum •Multi-functional reconfigurable chips 	<ul style="list-style-type: none"> •Protocols for interoperability •Multi-protocol chips •Gateway convergence •On chip networks •Longer range (higher frequencies – tenths of GHz) •5G developments
Network Technology	<ul style="list-style-type: none"> •Self aware and self organizing networks •Self-learning, self-repairing networks •IPv6- enabled scalability •Ubiquitous IPv6-based IoT deployment 	<ul style="list-style-type: none"> •Grid/Cloud network •Software defined networks •Service based network •Need based network
Software and algorithms	<ul style="list-style-type: none"> •Goal oriented software •Distributed intelligence, problem solving •User oriented software 	<ul style="list-style-type: none"> •Context aware software •Evolving software •Self reusable software •Autonomous things: •Self configurable •Self healing •Self management
Data and Signal Processing Technology	<ul style="list-style-type: none"> •Context aware data processing and data responses •Cognitive processing and optimization •IoT complex data analysis •IoT intelligent data visualization •Energy, frequency spectrum aware data processing 	<ul style="list-style-type: none"> •Common sensor ontology •Distributed energy efficient data processing •Autonomous computing
Discovery and Search Engine Technologies	<ul style="list-style-type: none"> •Automatic route tagging and identification management centers •On demand service discovery/integration 	<ul style="list-style-type: none"> •Scalable Discovery services for connecting things with services
Security & Privacy Technologies	<ul style="list-style-type: none"> •User centric context-aware privacy and privacy policies •Privacy aware data processing •Security and privacy profiles selection based on security and privacy need 	<ul style="list-style-type: none"> •Low cost, secure and high performance identification/ authentication devices •Decentralized approaches to privacy by information localization

Εικόνα 6: Μελλοντική ανάπτυξη και απαιτήσεις έρευνας (14)

2.6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

Παρά τα πολλαπλά πλεονεκτήματα της χρήσης του IoT υπάρχουν κάποιες προκλήσεις και επιπτώσεις στο σήμερα που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν πριν της μαζικής υιοθέτησης του IoT.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

- **Ιδιωτικότητα και ασφάλεια:** Καθώς το IoT γίνεται βασικό στοιχείο στο μελλοντικό Διαδίκτυο, τα συστήματα αποστολής δημιουργούν την ανάγκη ύπαρξης συνεχούς ασφάλειας και εμπιστοσύνης. Μία σημαντική πρόκληση είναι η ύπαρξη εμπιστοσύνης σε περιπτώσεις που διαμοιράζοντας πληροφορίες και επαναχρησιμοποιούνται σε άλλες εφαρμογές. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να υπάρχει ασφαλής ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ των συσκευών και χρήστη. Ακόμη, θα πρέπει να υπάρξουν μηχανισμοί οι οποίοι θα προστατεύουν τις ευάλωτες συσκευές.
- **Συνδυασμός κόστους και ευχρηστίας:** Το IoT χρησιμοποιεί τεχνολογίες προκειμένου να συνδέσει φυσικά αντικείμενα στο Διαδίκτυο. Προκειμένου να εξαπλωθεί η χρήση του IoT, το κόστος των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των δυνατοτήτων τους, όπως οι αισθητήρες, οι μηχανισμοί παρακολούθησης και ελέγχου, πρέπει να έχουν σχετικά χαμηλό κόστος μέσα στα επόμενα χρόνια.
- **Διαλειτουργικότητα:** Στο παραδοσιακό Διαδίκτυο, η διαλειτουργικότητα είναι η πιο βασική αξία. Η πρώτη απαίτηση του Διαδικτύου είναι τα διάφορα συστήματα που χρησιμοποιούνται «να μιλούν την ίδια γλώσσα» προκειμένου να επικοινωνούν. Αυτό επιτυγχάνεται με τα πρωτόκολλα και τις κωδικοποιήσεις. Διαφορετικές βιομηχανίες σήμερα χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα για την υποστήριξη των εφαρμογών τους. Με την ύπαρξη πολλών πηγών δεδομένων και ετερογενών συσκευών, η χρήση τυποποιημένων διεπαφών μεταξύ αυτών των διαφορετικών οντοτήτων είναι αναγκαία.
- **Διαχείριση δεδομένων:** Η διαχείριση δεδομένων είναι μία κρίσιμη πτυχή στο κόσμο του IoT. Όταν αναφερόμαστε σε έναν κόσμο αντικειμένων διασυνδεδεμένων που συνεχώς ανταλλάσσουν έναν μεγάλο και διαφορετικό τύπο δεδομένων και πληροφοριών, εννοούμε πως τα παραγόμενα δεδομένα και οι παραγόμενες διαδικασίες που σχετίζονται με τον χειρισμό των στοιχείων αυτών είναι κρίσιμος.
- **Ενεργειακά ζητήματα:** Μία από τις πιο βασικές προκλήσεις είναι ο τρόπος διασύνδεσης με τα αντικείμενα γνωρίζοντας πως αυτό καταναλώνει πολύ ενέργεια. (15) (16)

2.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΡΑ

Οι πιθανές εφαρμογές του Διαδικτύου είναι πολυάριθμες και ποικίλες, και χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλη την καθημερινή ζωή του ανθρώπου, τις επιχειρήσεις ακόμη και την κοινωνία στο σύνολό της. Η εφαρμογή του IoT καλύπτει "έξυπνα" περιβάλλοντα όπως: μεταφορές, κτίρια, πόλεις, lifestyle, πώληση, γεωργία, εργοστάσιο, αλυσίδα εφοδιασμού, έκτακτης ανάγκης, υγειονομική περίθαλψη, αλληλεπίδραση χρηστών, πολιτισμός και τουρισμός, περιβάλλον και ενέργεια. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες από τις εφαρμογές IoT.

- **IosL(Internet of smart living):** Με τις συσκευές τηλεχειρισμού μπορούμε να ενεργοποιήσουμε και να απενεργοποιήσουμε από απόσταση συσκευές προκειμένου να αποφύγουμε ατυχήματα και να εξοικονομήσουμε ενέργεια. Επιπλέον ο καιρός εμφανίζει εξωτερικές καιρικές συνθήκες όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, η πίεση, η ταχύτητα του ανέμου και τα επίπεδα βροχής με ικανότητα μετάδοσης δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις. Οι συσκευές Smart Home όπως τα ψυγεία με οθόνη LCD εμφανίζουν τι υπάρχει στο εσωτερικό, τα τρόφιμα που πρόκειται να λήξουν, τα προϊόντα που πρέπει να αγοράσουμε. Προσφέρεται η δυνατότητα να βρούμε όλες αυτές τις πληροφορίες σε μια εφαρμογή Smartphone. Υπάρχουν πλυντήρια που μας επιτρέπουν να παρακολουθούμε τα ρούχα από απόσταση καθώς επίσης και απομακρυσμένος έλεγχος της θερμοκρασίας της κουζίνας. Όσον αφορά την ασφάλεια

υπάρχουν κάμερες και συστήματα συναγερμού στο σπίτι και οι άνθρωποι αισθάνονται ασφαλείς στην καθημερινή τους ζωή στο σπίτι καθώς υπάρχουν συστήματα ανίχνευσης, όπως ανίχνευση ανοίγματος παραθύρων και θυρών για τυχόν παραβιάσεις από εισβολείς.

- **IOsC (Internet of smart cities):** Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνεται ο έξυπνος φωτισμός στο δρόμο, η ψηφιακή παρακολούθηση με βίντεο για παράδειγμα για τον έλεγχο πυρκαγιάς. Επίσης έχουμε έξυπνους δρόμους με προειδοποιητικά μηνύματα ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τα απροσδόκητα συμβάντα, όπως ατυχήματα ή εμπλοκές. Ακόμη έχουμε έξυπνους χώρους στάθμευσης για την παρακολούθηση διαθεσιμότητας θέσεων στάθμευσης σε πραγματικό χρόνο στην πόλη προκειμένου να βοηθούν τους κατοίκους να εντοπίσουν τους πλησιέστερους διαθέσιμους χώρους. Για την διαχείριση αποβλήτων υπάρχει η ανίχνευση σκουπιδιών για τη βελτιστοποίηση της συλλογής απορριμμάτων.
- **IOsE (Internet of smart environment):** Η παρακολούθηση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας γίνεται μέσω ελέγχου των εκπομπών CO₂ των εργοστασίων, της ρύπανσης που εκπέμπουν τα αυτοκίνητα και τα τοξικά αέρια που παράγονται. Επίσης υπάρχει η παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών, όπως υγρασία, θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ανέμου και βροχή, συστήματα ανίχνευσης πρώιμου σεισμού. Υπάρχουν συστήματα παρακολούθησης των διακυμάνσεων της στάθμης των υδάτων σε ποτάμια σε περιπτώσεις που οι βροχερές ημέρες είναι έντονες. Ακόμη, ένα άλλο ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι η προστασία της άγριας ζωής η οποία παρακολουθείται με περιλαίμια που χρησιμοποιούν GPS/GSM για τον εντοπισμό των άγριων ζώων.
- **IOsI (Internet of smart industry):** Γίνεται ανίχνευση των επιπέδων των αερίων από διαρροές σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, περιβάλλοντα χημικών εργοστασίων, παρακολούθηση τοξικών αερίων και του επιπέδου οξυγόνου μέσα σε χημικά εργοστάσια για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των εργαζομένων και των εμπορευμάτων, παρακολούθηση της στάθμης του νερού, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Όσον αφορά την συντήρηση και την επισκευή αυτή μπορεί να προγραμματιστεί αυτόματα πριν από μία πραγματική βλάβη τμήματος με την εγκατάσταση αισθητήρων στο εσωτερικό του εξοπλισμού προκειμένου να παρακολουθεί και να στέλνει αναφορές.
- **IOsH (Internet of smart health):** Αυτό πραγματοποιείται με την παρακολούθηση των συνθηκών των ασθενών μέσα στα νοσοκομεία και στο σπίτι των ηλικιωμένων, με τον έλεγχο των συνθηκών εντός των καταψυκτών που αποθηκεύουν εμβόλια και φάρμακα. Στον κλάδο της οδοντιατρικής υπάρχουν τα Bluetooth που είναι συνδεδεμένα με την οδοντόβουρτσα και μέσω εφαρμογής Smartphone αναλύεται το βούρτσισμα και δίνει πληροφορίες για την στοματική υγιεινή. Επίσης, υπάρχουν ασύρματοι αισθητήρες τοποθετημένοι σε όλο το στρώμα ενός κρεβατιού ανιχνεύοντας μικρές κινήσεις, όπως η αναπνοή και ο καρδιακός ρυθμός και οι μεγάλες κινήσεις που προκαλούνται από το χτύπημα και τη στροφή κατά τον ύπνο, παρέχοντας διαθέσιμα δεδομένα μέσω μιας εφαρμογής στο Smartphone.
- **IOsE (Internet of smart energy):** Σε αυτή τη κατηγορία έχουμε την παρακολούθηση και τη διαχείριση κατανάλωσης ενέργειας, αναλύοντας τη ροή ενέργειας από ανεμογεννήτριες και έξυπνους μετρητές για την ανάλυση μοντέλων κατανάλωσης και τροφοδοσία ρεύματος. Έχουμε ελεγκτές για τροφοδοτικά AC-DC που καθορίζουν την απαιτούμενη ενέργεια και βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση με λιγότερη απώλεια ενέργειας οι οποίοι συνδέονται με υπολογιστές, τηλεπικοινωνίες και ηλεκτρονικά είδη

ευρείας κατανάλωσης. Τέλος, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις βελτιστοποιούν την απόδοση σε ηλιακά ενεργειακά συστήματα. (17) (18)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ NarrowBand IoT (NB-IoT)

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ NB-IoT

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, το IoT προβλέπεται πως πρόκειται να γνωρίσει τεράστια ανάπτυξη στα επόμενα χρόνια. Κοινές συνδεδεμένες συσκευές πρόκειται να αναπτυχθούν στην ασύρματη επικοινωνία προκειμένου να μεταφέρουν πληροφορίες αισθητήρων. Πολλές συσκευές πρόκειται να μπορούν να ανταποκριθούν σε περιοχές όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη, δημιουργώντας μία ευρεία κάλυψη περιοχής και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας σε συνδυασμό με χαμηλό κόστος συσκευής και μία λογική καθυστέρηση επικοινωνίας. Προκειμένου να επιτευχθούν τα παραπάνω η 3GPP δημιούργησε το NarrowBand IoT(NB-IoT) το οποίο είναι ασύρματης επικοινωνίας, τον Σεπτέμβριο του 2016.

Το NB-IoT επομένως, είναι ένα ασύρματο πρωτόκολλο IoT που χρησιμοποιεί τεχνολογία LPWAN και χρησιμοποιεί αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων. Το εύρος είναι έως και τρία μίλια κάτω από κανονικές / τυπικές συνθήκες και μέχρι και δέκα μίλια είναι δυνατή κάτω από τις ιδανικές συνθήκες. Κατά την διάρκεια της τυποποίησης, πολλά μέλη του 3GPP υποστήριξαν πως το ήδη υπάρχων 4G LTE θα μπορούσε να συμμετέχει στην ικανοποίηση των απαιτήσεων. Μία σημαντική απαίτηση ήταν η διάρκεια ζωής μπαταρίας 10 ετών σε ένα προκαθορισμένο προφίλ.

Με βάση το πρότυπο LTE, το NB-IoT χρησιμοποιείται σε κυψελοειδείς συσκευές και υπηρεσίες όπου είναι επιθυμητό το χαμηλό κόστος και η κατανάλωση ενέργειας και δεδομένων και υψηλή πυκνότητα σύνδεσης. Η κατανάλωση ισχύος είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα και η χρήση αυτού του προτύπου οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, κρίσιμη σε ένα αυξανόμενο δίκτυο IoT που υποστηρίζει έναν αυξανόμενο αριθμό συσκευών. Το NB-IoT είναι επίσης ευνοϊκό για συσκευές που είναι εγκατεστημένες σε απομακρυσμένες περιοχές ή σε περιοχές με δυσκολία πρόσβασης λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας καθώς και της ευρείας κάλυψης.

Η ύπαρξη του LPWA υπήρξε για περίπου 10 χρόνια στην αγορά. Επομένως, δεν πρόκειται για κάτι καινούργιο και καινοτόμο. Οι σημερινές τεχνολογίες, οι οποίες αποτελούν και λύσεις ,που υποστηρίζουν αυτή την αγορά είναι κατακερματισμένες και μη τυποποιημένες, και συνεπώς υπάρχουν ελλείψεις όπως η χαμηλή αξιοπιστία, η κακή ασφάλεια, το υψηλό λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης. Σ' αυτό να προσθέσουμε και πως η ανάπτυξη δικτύου επικάλυψης είναι πολύπλοκη.

Το NB-IoT ξεπερνά τα παραπάνω ελαττώματα, με όλα τα πλεονεκτήματα που έχει όπως η ευρεία κάλυψη, η γρήγορη αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που εγγυάται διάρκεια ζωής μπαταρίας 10 ετών, υψηλή σύνδεση, τερματικό χαμηλού κόστους, plug & play, αξιοπιστία, υψηλή ασφάλεια δικτύου και τέλος μια ενοποιημένη διαχείριση πλατφόρμας επιχειρήσεων. Η αρχική επένδυση στο δίκτυο αυτό φαντάζει να είναι αρκετά σημαντική και το κόστος να είναι πολύ μικρό. Η NB-IoT τεχνολογία ταιριάζει απόλυτα με τις απαιτήσεις της αγοράς LPWA, επιτρέποντας στους φορείς να εισέλθουν σε αυτό το νέο πεδίο.

Το NB-IoT επιτρέπει στους χειριστές να εκμεταλλεύονται παραδοσιακές επιχειρήσεις όπως το Smart Metering και το Tracking, χάρη σε μοντέλα χαμηλού κόστους και στην

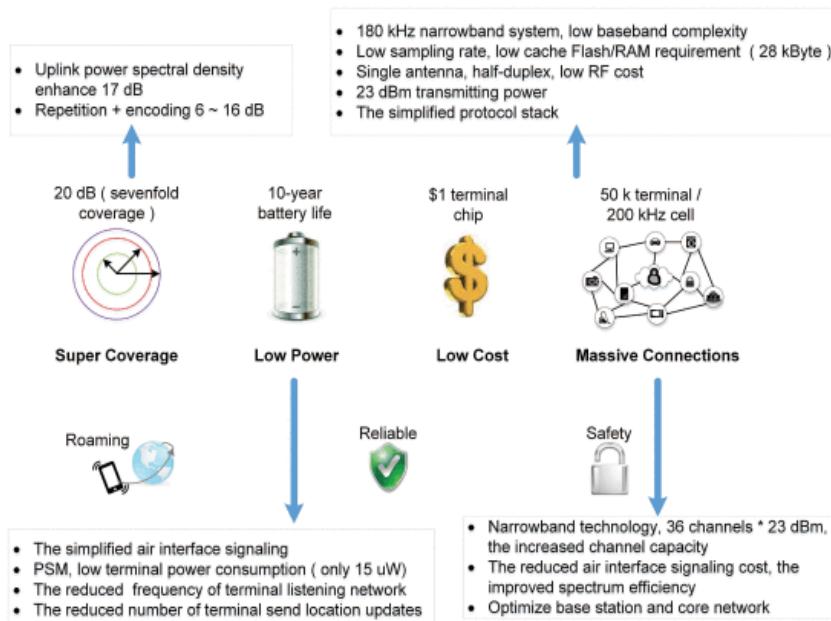
Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίσωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

έξοχη συνδεσιμότητα και ταυτόχρονα ανοίγει περισσότερες βιομηχανικές ευκαιρίες όπως είναι η έξυπνη πόλη και το έξυπνο σύστημα υγείας. Το NB-IoT καθιστά δυνατή την σύνδεση περισσότερων πραγμάτων, αλλά και οι φορείς μπορούν να αναπτύξουν συνεργασία με συναφείς κλάδους, εκτός από την πώληση συνδέσεων, μπορούν επίσης να πουλήσουν δεδομένα.

Το NB-IoT εισήχθη αρχικά από το 3GPP και τυποποιήθηκε ως τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας το 2016. Από το 2019, τα δίκτυα NB-IoT έχουν ξεκινήσει από πάνω από 140 φορείς σε 69 χώρες. Οι πάροχοι κυψελοειδών δικτύων είναι σε θέση να αναπτύξουν ασφαλή και αξιόπιστη δικτύωση NB-IoT, με εταιρίες τηλεπικοινωνιών όπως η Vodafone να το εμπορεύονται ως μια αποδοτική και οικονομικά αποδοτική τεχνολογία για μια σειρά εφαρμογών Διαδικτύου και για τη δημιουργία αυξημένης συνδεσιμότητας στη ζωή και τη δραστηριότητα των καταναλωτών. Το NB-IoT φέρνει πλεονέκτημα επειδή οι συσκευές του μπορούν να αξιοποιήσουν τη μη χρησιμοποιούμενη συχνότητα LTE σε δίκτυα 4G για χρήση. Η αγορά αυτή έχει πραγματική αξία και αναμένεται να φθάσει τα 25 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2021. (19)

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας NB-IoT προκειμένου να μπορέσουμε να κατανοήσουμε την αναγκαιότητα καθώς και την χρησιμότητά της. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται συνολικά τα χαρακτηριστικά και μετέπειτα ακολουθεί η ανάλυση τους.



Εικόνα 7: Βασικά χαρακτηριστικά NB-IoT (20)

1. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας: Χρησιμοποιώντας τη λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (PSM) και την εκτεταμένη ασυνεχή λήψη (eDRX), μπορεί να πραγματοποιηθεί μεγαλύτερος χρόνος αναμονής στο NB-IoT. Αξίζει να σημειώσουμε πως η τεχνολογία PSM προστέθηκε πρόσφατα στην έκδοση Rel-12, όπου στην κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας ο τερματικός εξακολουθεί να είναι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο, αλλά δεν μπορεί να επιτευχθεί η σηματοδότηση για να βρεθεί ο τερματικός σε κατάσταση ύπνου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα προκειμένου να επιτευχθεί η εξοικονόμηση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, το eDRX

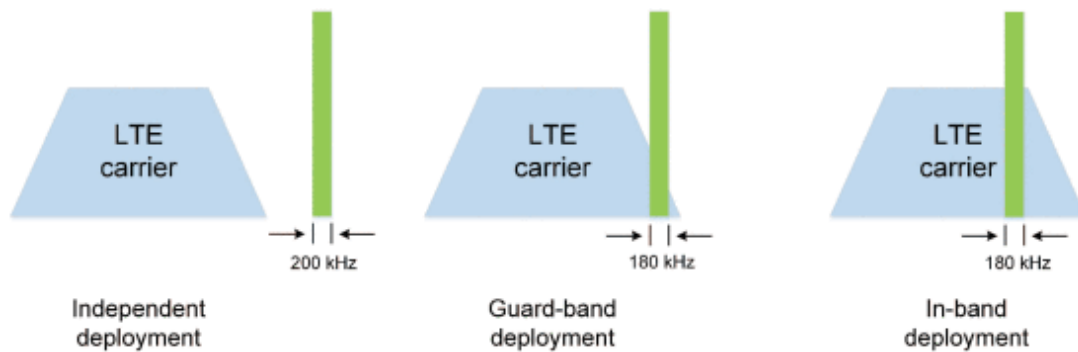
προστέθηκε πρόσφατα στην έκδοση Rel-13, το οποίο επεκτείνει περαιτέρω τον κύκλο ύπνου του τερματικού σε κατάσταση αναμονής και μειώνει την άσκοπη εκκίνηση του κυττάρου λήψης. Σε σύγκριση με το PSM, το eDRX προωθεί σημαντικά την downlink πρόσβαση. Το NB-IoT απαιτεί ότι η διάρκεια ζωής του τερματικού μιας μπαταρίας είναι 10 έτη για μία τυπική χαμηλής συχνότητας υπηρεσία. Όπως βλέπουμε και στον παρακάτω πίνακα, σύμφωνα με προσομοιωμένα δεδομένα του TR45.820, για απώλεια ζεύξης 164dB, με χρήση τόσο PSM όσο και eDRX, η διάρκεια ζωής μπαταρίας 5-Wh μπορεί να είναι 12.8 χρόνια αν ένα μήνυμα των 200 byte αποστέλλεται μία φορά την ημέρα από έναν τερματικό.

Message size / message interval	Battery life / year		
	Coupling loss = 144 dB	Coupling loss = 154 dB	Coupling loss = 164 dB
50 bytes / 2 hours	22.4	11.0	2.5
200 bytes / 2 hours	18.2	5.9	1.5
50 bytes / 1 day	36.0	31.6	17.5
200 bytes / 1 day	34.9	26.2	12.8

Εικόνα 8: Εκτίμηση διάρκειας ζωής μπαταρίας (21)

2. Ενισχυμένη κάλυψη και χαμηλός ρυθμός καθυστέρησης: Σύμφωνα με τα δεδομένα προσομοίωσης του TR45.820, μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι η ισχύς κάλυψης του NB-IoT μπορεί να φτάσει τα 164dB όταν βρίσκεται σε λειτουργία ανεξάρτητης ανάπτυξης. Οι εξομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο για in-band όσο και για guard-band ανάπτυξη. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η βελτίωση κάλυψης, μηχανισμοί όπως η αναμετάδοση (200 φορές) και η διαμόρφωση χαμηλής συχνότητας υιοθετήθηκαν από την τεχνολογία NB-IoT.
3. Τρόπος λειτουργίας του NB-IoT: Επί του παρόντος, το NB-IoT υποστηρίζει μόνο τη λειτουργία μετάδοσης FDD με εύρος ζώνης 180kHz και τους 3 ακόλουθους τύπους σκηνών ανάπτυξης, οι οποίοι είναι:
 - Stand-alone mode: Χρησιμοποιεί ανεξάρτητη ζώνη συχνοτήτων που δεν επικαλύπτεται με τη ζώνη συχνοτήτων LTE.
 - Guard-band mode: Χρησιμοποιεί ζώνη συχνοτήτων LTE.
 - In-band mode: Χρησιμοποιεί ζώνη συχνοτήτων LTE για ανάπτυξη και χρειάζεται 1 PRB πόρου ζώνης συχνοτήτων LTE για ανάπτυξη

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

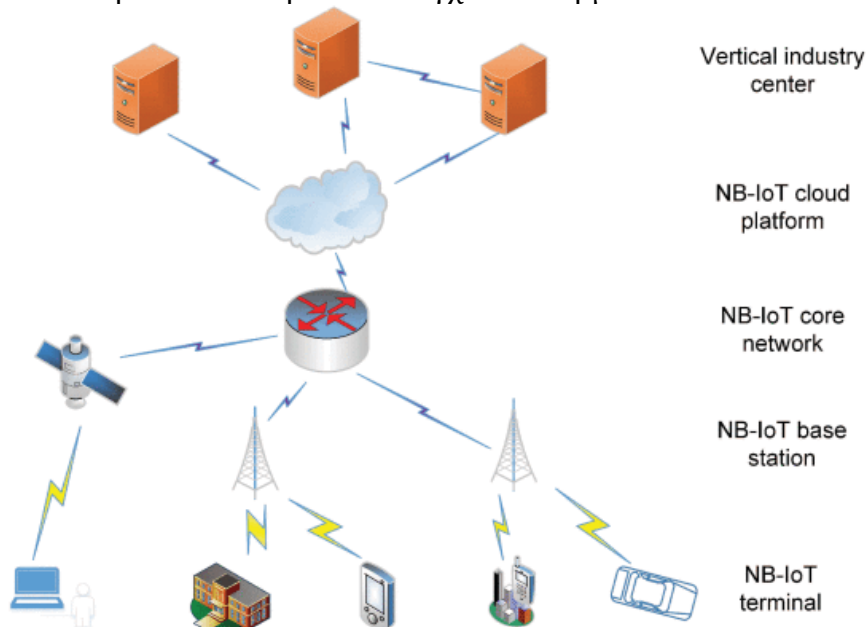


LTE: Long term evolution NB-IoT: Narrow-Band Internet of Things

Εικόνα 9: Ανάπτυξη που υποστηρίζεται από το NB-IoT (22)

4. Δίκτυο NB-IoT: Όπως μπορούμε να δούμε και στο σχήμα που ακολουθεί το δίκτυο NB-IoT αποτελείται από πέντε μέρη:

- **Τερματικό NB-IoT:** Οι συσκευές IoT σε όλους τους κλάδους έχουν πρόσβαση στο δίκτυο NB-IoT εφόσον είναι εγκατεστημένη η αντίστοιχη κάρτα SIM.
- **Σταθμός βάσης NB-IoT:** Αναφέρεται κυρίως στο σταθμό βάσης που έχει ήδη αναπτυχθεί από φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών και υποστηρίζει και τους τρεις τύπους τρόπων ανάπτυξης που αναφέρθηκαν προηγουμένως.
- **Κεντρικό δίκτυο NB-IoT:** Μέσω κεντρικού δικτύου NB-IoT, ο σταθμός βάσης NB-IoT μπορεί να συνδεθεί στο NB-IoT cloud.
- **Πλατφόρμα cloud NB-IoT:** Η πλατφόρμα αυτή μπορεί να επεξεργαστεί διάφορες υπηρεσίες και τα αποτελέσματα προωθούνται στο κάθετο επιχειρηματικό κέντρο ή στο τερματικό NB-IoT.
- **Κάθετο επιχειρηματικό κέντρο:** Μπορεί να αποκτήσει δεδομένα υπηρεσίας NB-IoT στο δικό του κέντρο και να πάρει τον έλεγχο του τερματικού NB-IoT.



NB-IoT: Narrow-Band Internet of Things

Εικόνα 10: Δικτύωση του NB-IoT (23)

5. Αναμετάδοση δεδομένων: Το NB-IoT υιοθετεί μηχανισμό αναμετάδοσης δεδομένων για να αποκτήσει κέρδος ποικιλομορφίας χρόνου και διαμόρφωση χαμηλής τάξης για

να βελτιώσει την απόδοση αποδιαμόρφωσης και την απόδοση κάλυψης. Όλα τα κανάλια υποστηρίζουν την αναμετάδοση δεδομένων. Εκτός αυτού, το 3GPP καθορίζει επίσης τον αριθμό αναμετάδοσης και τον αντίστοιχο τρόπο διαμόρφωσης για κάθε κανάλι.

6. Πόρος φάσματος: Το IoT είναι η μεγαλύτερη υπηρεσία που θα προσελκύσει την μεγαλύτερη ομάδα χρηστών στην αγορά υπηρεσιών επικοινωνίας στο μέλλον, επομένως η ανάπτυξη του NB-IoT έχει μεγάλη υποστήριξη από τέσσερις μεγαλύτερους τηλεπικοινωνιακούς φορείς στην Κίνα, οι οποίοι κατέχουν αντίστοιχο πόρο φάσματος για το NB-IoT.
7. Ημι-στατική προσαρμογή: Οι περισσότερες σκληρές υπηρεσίες του NB-IoT κάνουν μικρές μεταδόσεις πακέτων και είναι δύσκολο για το NB-IoT να παρέχει μακροπρόθεσμη και συνεχή ένδειξη αλλαγής ποιότητας καναλιού, οπότε το NB-IoT εισάγει επίπεδο κάλυψης αντί δυναμικού συνδέσμου συστήματος προσαρμογής. Υπάρχουν τρία είδη κατηγοριών κάλυψης, όπως η κανονική κάλυψη, η ισχυρή κάλυψη και η ακραία κάλυψη που αντιστοιχούν στις ελάχιστες απώλειες σύζευξης 144dB, 155dB και 164dB. Οι χρόνοι μετάδοσης δεδομένων μπορούν να επιλεγούν σύμφωνα με την κατηγορία κάλυψης των τερματικών και έτσι πραγματοποιείται η προσαρμογή της ημι-στατικής σύνδεσης. (24)

3.3 ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ NB-IoT ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΑ

Το NB-IoT έχει την δυνατότητα να προσφέρει πρόσβαση σε υπηρεσίες του δικτύου με την χρήση του φυσικού επιπέδου το οποίο αξίζει να αναφέρουμε πως με την πάροδο του χρόνου έχει βελτιωθεί αρκετά προκειμένου να είναι δυνατόν να υπάρξει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό κόστος. Επίσης, το εύρος ζώνης του φορέα είναι 180kHz και η διαμόρφωση είναι QPSK και ταυτόχρονα υπάρχει η δυνατότητα να υποστηρίξει half-duplex επικοινωνία. Τα μηνύματα του downlink στηρίζονται στο OFDMA ενώ την ίδια στιγμή τα uplink μπορούν να είναι είτε μονού είτε διπλού τόνου.

Το NB-IoT υιοθετεί την ίδια δομή πλαισίου με το LTE, με 1024 υπερπλαίσιια, αποτελούμενα από 1024 καρτέ που περιέχουν 10 υποπλαίσιια δύο υποδοχών με διάρκεια 0,5 ms το καθένα στον τομέα χρόνου. Παρομοίως, στον τομέα συχνοτήτων, το NB-IoT, το NB-IoT περιέχει 12 υποφόρους από 7 σύμβολα OFDM που αντιστοιχίζονται σε κάθε υποδοχή. Επιπλέον, όταν το NB-IoT χρησιμοποιεί την απόσταση 3,75kHz στο uplink και χρησιμοποιούνται 48 υπο-φορείς με διάρκεια υποδοχής 2 ms.

Τα παρακάτω κανάλια και σήματα χρησιμοποιούνται στο uplink:

- Narrowband Physical Random Access Channel (NPRACH).
- Narrowband Physical Uplink Shared Channel (NPUSCH).
- Demodulation Reference Signal (DMRS).

Και τα παρακάτω αφορούν το downlink πλαίσιο:

- Narrowband Physical Downlink Shared Channel (NPDSCH).
- Narrowband Physical Downlink Control Channel (NPDCCH).
- Narrowband Reference Signal (NRS).
- Narrowband Primary Synchronization Signal (NPSS).
- Narrowband Secondary Synchronization Signal (NSSS).
- Narrowband Physical Broadcast Channel (NPBCH). (25)

3.4 MAC ΕΠΙΠΕΔΟ NB-IoT

Προκειμένου να υπάρξει επιτυχής βελτίωση και στο επίπεδο MAC πραγματοποιήθηκαν και εκεί κάποιες βελτιώσεις με σκοπό την επίτευξη της εξοικονόμησης ενέργειας. Στο συγκεκριμένο επίπεδο χρησιμοποιείται μόνο μία διαδικασία HARQ και αυτό οφείλεται

στον μικρότερο αριθμό απαιτήσεων όταν πρόκειται για data rate σε συνδυασμό με το μέγεθος των δεδομένων που αποστέλλονται σε σχέση με το LTE. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού bit ελέγχου, αυξάνοντας την επίδοση και την κατανάλωση ενέργειας. Ακόμη, σε αυτό το επίπεδο οι αναμεταδόσεις έγιναν ασύγχρονες τόσο για downlink όσο και για uplink μηνύματα. Αυτό έχει θετικό αποτέλεσμα στην κατανάλωση ενέργειας γιατί με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι άσκοπες προγραμματισμένες αναμεταδόσεις. Σε αυτή την περίπτωση γίνονται μόνο μετά από κατάλληλη αίτηση. Επιπροσθέτως, έχουν υπάρξει βελτιώσεις στα επίπεδα 1 και 2 του NB-IoT και ταυτόχρονα έχει μειωθεί ο αριθμός των bytes σε διάφορες μονάδες. Αυτό βοηθάει αρκετά στην αποτελεσματική μείωση του μεγέθους των πακέτων που μεταδίδονται στο δίκτυο σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Για να γίνουμε πιο κατανοητοί, ο αριθμός αυτός δεν ξεπερνάει τα 1500 bytes ανά IP πακέτο. (25)

3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Στην συγκεκριμένη υποενότητα παρουσιάζουμε τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας NB-IoT. Είναι αλήθεια πως έχει υποστεί μία σειρά από αλλαγές προκειμένου να ανταποκριθεί στις προδιαγραφές ενός LPWA. Είναι σαφές πως κάθε τεχνολογία διαθέτει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες.

1. Καθώς χρησιμοποιεί ασύρματο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, προσφέρει μεγαλύτερη επεκτασιμότητα, ποιότητα υπηρεσίας και ασφάλεια σε σύγκριση με δίκτυα LPWA χωρίς άδεια όπως LoRa και Sigfox.
2. Προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.
3. Προσφέρει εκτεταμένη κάλυψη σε σύγκριση με τα συστήματα GSM και GPRS.
4. Διάφοροι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων στην Ευρώπη και στην Ασία το υποστηρίζουν.
5. Μεταδίδει δεδομένα σε χαμηλούς ρυθμούς bit σε μεγάλες αποστάσεις. Το εύρος είναι καλύτερο σε σχέση με το GSM και το LTE.
6. Τα NB-IoT modules πρόκειται να είναι διαθέσιμη στην αγορά σε μέτρια κόστη.
7. Υποστηρίζεται από πολλές χώρες για τον λόγο ότι βασίζεται στο LTE. (26)

3.6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σε αυτή την ενότητα ακολουθούν τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας NB-IoT τα οποία είναι:

1. Προσφέρει χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων (λήψη 250Kbps και μεταφόρτωση 20Kbps) σε σύγκριση με το LTE cat-M1. Το εύρος ζώνης είναι 200KHz. Ως εκ τούτου, είναι ιδανικό να χρησιμοποιούμε το NB-IoT για σταθερές συσκευές.
2. Δεν υποστηρίζει Voice over LTE (VoLTE) με αποτέλεσμα η μετάδοση φωνής να μην υποστηρίζεται.
3. Το Roaming δεν υποστηρίζεται σε αντίθεση με το LTE-M και Sigfox. Ωστόσο αναμένεται σύντομα. (27)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ eMTC ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

4.1.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ eMTC ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Το IoT αναγνωρίστηκε ιδιαίτερα από την βιομηχανία. Η επικοινωνία μεταξύ μηχανών θεωρήθηκε επίσης ως σημαντική ευκαιρία για την οικολογική ανάπτυξη προτύπου από το 3GPP. Στην εποχή του Διαδικτύου, η LPWAN τεχνολογία που χαρακτηρίζεται από το χαμηλό κόστος, την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, την ευρεία κάλυψη και τον χαμηλό ρυθμό, παίζουν σημαντικό ρόλο, επομένως, το 3GPP προωθεί πάντα την ανάπτυξη σχετικών τεχνολογιών MTC. Οι προσπάθειες επικεντρώνονται σε δύο κατευθύνσεις:

- Έρευνα για την εξέλιξη της τεχνολογίας GSM και της ολοκαίνουργιας τεχνολογίας πρόσβασης για την αντιμετώπιση των non-3GPP τεχνολογικών προκλήσεων. Για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι υπηρεσίες IoT που παρέχονται από φορείς εκμετάλλευσης 3GPP βασίζονταν κυρίως σε μονάδες GPRS. Ωστόσο, λόγω της εμφάνισης νέων τεχνολογιών όπως το Lora και το Sigfox, απειλούνται τα παραδοσιακά πλεονεκτήματα των 3GPP σε θέματα κόστους, κατανάλωσης ενέργειας και κάλυψης. Επομένως, το 3GPP πρότεινε μια καινούρια μελέτη η οποία αποσκοπούσε σε ένα εξελιγμένο σύστημα πρόσβασης για την πραγματοποίηση βελτιώσεων όπως χαμηλότερη πολυπλοκότητα, χαμηλότερο κόστος, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και ισχυρότερη κάλυψη.
- Εξέταση της μελλοντικής εναλλακτικής χρήσης του IoT και μελέτη μιας χαμηλούς κόστους και εξελισσόμενης τεχνολογίας LTE-MTC. Το 3GPP καθόρισε πολλές κατηγορίες τερματικών που ισχύουν για διαφορετικές σκληρές απαιτήσεις υπηρεσίας του IoT. Οι τερματικές κατηγορίες 1-5 με διαφορετικές τιμές ορίζονται στο Rel-8. Στις εξελισσόμενες εκδόσεις, προστίθενται οι κατηγορίες τερματικών 6 και 9 που υποστηρίζουν υψηλό εύρος ζώνης και υψηλό ρυθμό, ενώ στο μεταξύ ορίζεται επίσης η κατηγορία τερματικού 0 που υποστηρίζει χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Το NB-IoT προέρχεται από την έρευνα για ολοκαίνουργια τεχνολογία πρόσβασης. Επιπλέον, εκτός από τις δύο κατευθύνσεις που αναφέραμε παραπάνω, το 3GPP

μελετά πάντα την τεχνολογία εξοικονόμησης ενέργειας με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και σύγχρονη αναβάθμιση της αρχιτεκτονικής του συστήματος και του δικτύου για την υποστήριξη σχετικών εξελιγμένων τεχνολογιών.

4.1.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ eMTC

Το βελτιωμένο eMTC είναι μία σκηνή εφαρμογής του IoT που παρέχει εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και η έμφαση στη χρήση του είναι κυρίως στις απαιτήσεις επικοινωνίας.

Το Διαδίκτυο των πάντων είναι μία αξεπέραστη τάση. Οι μαζικές συνδέσεις στο IoT θα εφαρμοστούν ευρέως στην καθημερινή ζωή μέσω παρακολούθησης κατοικίδιων ζώων, φροντίδας ηλικιωμένων και έξυπνων ταξιδιών ή στην έξυπνη βιομηχανία. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν ευρύτερη και βαθύτερη ικανότητα κάλυψης. Δηλαδή, εφαρμογές όπως είναι το υπόγειο και τα εξωτερικά προάστια θα πρέπει επίσης να καλύπτονται. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν επίσης χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Για παράδειγμα, σε υπηρεσίες όπως είναι η μέτρηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας πρέπει να είναι δέκα χρόνια. Επιπλέον, απαιτείται μεγαλύτερη κλίμακα συνδέσεων και χαμηλότερο κόστος. Η παρούσα τεχνολογία δικτύου κινητής τηλεφωνίας δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του LPWAN όσον αφορά την ικανότητα κάλυψης, την κατανάλωση ενέργειας, το κόστος κ.λπ. Επομένως, η τεχνολογία eMTC ξεκινάει να αναδύεται.

Το eMTC είναι ένα σημαντικό παρακλάδι του Διαδικτύου κάθε τεχνολογίας που προέρχεται από το πρωτόκολλο LTE. Προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία μεταξύ των πραγμάτων και να μειωθεί περαιτέρω το κόστος, πραγματοποιείται η βελτιστοποίηση πρωτοκόλλου του LTE. Η ανάπτυξη του eMTC βασίζεται σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και ο εξοπλισμός του χρήστη μπορεί να συνδεθεί απευθείας σε υπάρχον δίκτυο LTE υποστηρίζοντας ραδιοσυχνότητα 1,4MHz. Τα μέγιστα ποσοστά για uplink και downlink που υποστηρίζονται από το eMTC είναι το 1Mbps, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν άφθονες και καινοτόμες εφαρμογές IoT. Οι εφαρμογές IoT όπως το Internet of Vehicles, η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη και το έξυπνο σπίτι παράγουν τεράστιες συνδέσεις, οι οποίες υπερβαίνουν τις απαιτήσεις επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων, και αυτή είναι μία σημαντική στρατηγική κατεύθυνση. Το eMTC ως αναδυόμενη τεχνολογία, υποστηρίζει ευρέως τη φυσική σύνδεση εξοπλισμού με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε κυψελοειδή δίκτυα ευρείας περιοχής.

Η τεχνολογία αυτή διαθέτει τέσσερα βασικά πλεονεκτήματα του LPWAN τα οποία είναι ευρεία κάλυψη, δυνατότητα υποστήριξης μαζικών συνδέσεων, χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος και χαμηλότερο κόστος μονάδας. Λόγω της ευρείας κάλυψης μπορεί να αποκτήσει κέρδος μετάδοσης 15dB σε σύγκριση με το υπάρχον δίκτυο στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, γεγονός που βελτιώνει σημαντικά την ικανότητα κάλυψης του δικτύου LTE. Επιπλέον, ένα επιπλέον κομμάτι της μπορεί να υποστηρίξει σχεδόν 100.000 συνδέσεις. Ο χρόνος αναμονής των τερματικών του eMTC μπορεί να είναι και 10 χρόνια. Οι συνδέσεις μεγάλης κλίμακας φέρνουν ταχεία μείωση στο κόστος των τσιπ που μπορεί να είναι 1-2\$.

Το eMTC επίσης διαθέτει τέσσερις σημαντικές ικανότητες όπως είναι η υψηλή ταχύτητα, κινητικότητα, δυνατότητα εντοπισμού και φωνητική υποστήριξη. Όπως ήδη αναφέραμε, οι μέγιστοι ρυθμοί αιχμής για uplink και downlink που υποστηρίζονται από το eMTC είναι 1 Mbps, το οποίο υπερβαίνει κατά πολύ τον ρυθμό των τρεχουσών τεχνολογιών IoT όπως το GPRS και το Zigbee. Ως αποτέλεσμα, μπορούν να υποστηριχτούν πιο πλούσιες εφαρμογές IoT όπως βίντεο και φωνή χαμηλού ρυθμού bit. Επίσης, υποστηρίζει φωνή VoLTE η οποία μπορεί να

εφαρμοστεί ευρέως σε φορητές συσκευές στο μέλλον.

Το eMTC μπορεί να αναπτυχθεί και να αναβαθμιστεί απευθείας στο υπάρχον δίκτυο LTE και μπορεί να μοιράσει την θέση τοποθεσίας και τον τροφοδοτή κεραίων με τους υπάρχοντες σταθμούς βάσης LTE. Τα πλεονεκτήματα του χαμηλού κόστους και της ταχείας ανάπτυξης βοηθούν τους χρήστες να εκμεταλλευτούν ευκαιρίες στην αγορά του IoT που επεκτείνονται ταχέως στα επιχειρηματικά όρια.

4.1.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ eMTC

i. Κάλυψη

Ο σχεδιαστικός στόχος του NB-IoT είναι η επίτευξη ενίσχυσης κάλυψης 20dB σε σύγκριση με το GSM. Επομένως, εάν η μέγιστη απώλεια διαδρομής ζεύξης του GSM είναι 144dB, η μέγιστη απώλεια διαδρομής ζεύξης του NB-IoT θα πρέπει να είναι 164dB. Στη συνέχεια, η ενίσχυση του downlink βασίζεται κυρίως στην αύξηση των μεγίστων χρόνων μετάδοσης για κάθε κανάλι. Αν και η ισχύς μετάδοσης του uplink(23dBm) είναι 10dBm χαμηλότερη από αυτή του GSM(33dBm), η μείωση του εύρους ζώνης μετάδοσης και η αύξηση των μεγίστων χρόνων αναμετάδοσης επιτρέπουν την ανερχόμενη ζεύξη να λειτουργεί κάτω από τη μέγιστη απώλεια διαδρομής ζεύξης των 164dB.

Όσον αφορά το eMTC, ο σχεδιαστικός στόχος είναι η επίτευξη ενίσχυσης κάλυψης 15dB σε σύγκριση με το LTE του οποίου η μέγιστη απώλεια διαδρομής ζεύξης είναι 140dB, επομένως η μέγιστη απώλεια διαδρομής ζεύξης του eMTC θα πρέπει να είναι 155dB. Η βελτίωση κάλυψης βασίζεται κυρίως στην επανάληψη καναλιών και η κάλυψη περίπου 9dB χειρότερη από την κάλυψη του NB-IoT.

Συνοπτικά, η ακτίνα κάλυψης του NB-IoT είναι περίπου 4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του GSM/LTE, ενώ η ακτίνα κάλυψης του eMTC είναι περίπου 3 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του GSM/LTE. Η ακτίνα κάλυψης του NB-IoT είναι 30% μεγαλύτερη από αυτήν του eMTC. Η ενίσχυση κάλυψη της των NB-IoT και eMTC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της βαθιάς ικανότητας των τερματικών IoT και του ποσοστού κάλυψης του δικτύου, ή για την μείωση της πυκνότητας των τοποθεσιών και τη μείωση του κόστους δικτύου.

ii. Κατανάλωση ενέργειας

Εξαιτίας της γεωγραφικής θέσης ή του κόστους, τα τερματικά δεν ενημερώνονται σχεδόν καθόλου που αποτελεί πρόκληση για τις περισσότερες εφαρμογές IoT. Επομένως, η κατανάλωση ισχύος παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του κατά πόσον οι τερματικοί σταθμοί IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο εμπόριο σε ειδικές σκηνές.

Όσον αφορά το NB-IoT ο σχεδιαστικός στόχος για τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι τα 10 χρόνια. Το NB-IoT μειώνει την κατανάλωση ενέργειας χρησιμοποιώντας το eDRX και το PSM και βελτιώνει την αποδοτικότητα της μπαταρίας μέσω βελτίωσης της απόδοσης PA(peak-to-average), μειώνοντας τους περιοδικούς χρόνους μέτρησης και υποστηρίζοντας μόνο μία διαδικασία για την επίτευξη αντικειμενικού σκοπού. Ωστόσο, στην πράξη, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας σχετίζεται στενά με συγκεκριμένο μοντέλο υπηρεσίας και περιοχή κάλυψης του τερματικού.

Επειδή, η ιδανική διάρκεια ζωής της μπαταρίας για το eMTC είναι επίσης 10 χρόνια, εισάγει επίσης PSM και eDRX. Ωστόσο, η πραγματική απόδοση θα πρέπει ακόμη να αξιολογηθεί και να επαληθευτεί σε διαφορετικές σκηνές.

iii. Κόστος

Το NB-IoT υιοθετεί απλούστερη μέθοδο διαμόρφωσης, αποδιαμόρφωσης και κωδικοποίησης για την μείωση των απαιτήσεων απομνημόνευσης και επεξεργαστή.

Μία σειρά από μεθόδους υιοθετούνται, όπως το half-duplex, ο δείκτης μείωσης εκτός ζώνης και ο δείκτης συμφόρησης. Σύμφωνα με την τρέχουσα κλίμακα αγοράς, το κόστος της μονάδας είναι χαμηλότερο από 5\$. Στο μέλλον, το κόστος της μονάδας ενδέχεται να μειωθεί περαιτέρω με την επέκταση της κλίμακας της αγοράς λόγω του αποτελεσματικότητας. Το συγκεκριμένο ποσό καθώς και ο χρόνος θα καθοριστεί από την ανάπτυξη ταχύτητας.

Όσον αφορά το eMTC, το κόστος βελτιστοποιείται επίσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις εφαρμογής IoT βάσει του LTE. Συγκεκριμένα το κόστος κόστος θα μπορούσε να είναι χαμηλότερο από 10\$ αν λάβουμε υπόψιν το αρχικό στάδιο ανάπτυξης της αγοράς.

iv. Πλήθος συνδέσεων

Ο αριθμός σύνδεσης είναι ο βασικός παράγοντας για την εφαρμογή μεγάλης κλίμακας του IoT. Όσον αφορά το NB-IoT, η αρχική σκέψη και ο αρχικός στόχος ήταν να μπορέσουν να υπάρξουν 50.000 συνδέσεις ανά κελί. Με βάση τον υπολογισμό και τις αξιολογήσεις, η τρέχουσα έκδοση του μπορεί να ικανοποιήσει αυτές τις απαιτήσεις. Ωστόσο, αν ο στόχος σχεδιασμού μπορεί να επιτευχθεί στην πράξη εξαρτάται από παράγοντες όπως το μοντέλο υπηρεσίας τερματικών κελιών του NB-IoT. Συνεπώς, απαιτούνται περαιτέρω δοκιμές και αξιολογήσεις.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι το eMTC δεν βελτιστοποιεί τον αριθμό σύνδεσης αποκλειστικά για IoT. Επί του παρόντος, ο προβλεπόμενος αριθμός σύνδεσης είναι μικρότερος από αυτόν της τεχνολογίας NB-IoT και απαιτούνται περαιτέρω δοκιμές και αξιολόγηση για συγκεκριμένη απόδοση.

v. Υποστήριξη φωνητικής λειτουργίας

Οι ρυθμοί φωνής των SD και του HD VoIP είναι 12.2 kbps και 23.85 kbps, αντίστοιχα, επομένως, ολόκληρο το δίκτυο πρέπει να παρέχει τουλάχιστον 10,6Kbps και 17.7Kbps ρυθμούς επιπέδου εφαρμογής για την υποστήριξη του SD και του HD VoIP, αντίστοιχα.

Οι ρυθμοί του uplink και του downlink στο NB-IoT στην μέγιστη τιμή είναι μόνο 67kbps και 30kbps, επομένως η λειτουργία φωνής δεν μπορεί να υποστηριχτεί σε περιβάλλον δικτύωσης.

Όσο για το eMTC οι ρυθμοί του downlink και του uplink του FFD είναι ικανοί να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για φωνή. Όμως, από την πλευρά της βιομηχανίας, οι παρούσες συνθήκες υποστήριξης είναι αρκετά περιορισμένες. Η λειτουργία του TDD του eMTC, λόγω περιορισμένων uplink πόρων, έχει χαμηλότερες δυνατότητες υποστήριξης φωνής από την λειτουργία FDD.

vi. Διαχείριση κινητικότητας

Στην έκδοση 13 του NB-IoT η παράδοση και ανακατεύθυνση κυττάρων δεν μπορεί διεξαχθεί σε συνδεδεμένη κατάσταση και η επανεπιλογή κυττάρων μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε κατάσταση αδράνειας. Σε επόμενες εκδόσεις ο κλάδος ενδέχεται να προτείνει απαιτήσεις για διαχείριση κινητικότητας για συνδεδεμένη κατάσταση λόγω κάθετων βιομηχανικών απαιτήσεων.

Δεδομένου ότι η τεχνολογία eMTC είναι βελτιστοποιημένη και σχεδιασμένη με βάση το LTE, υποστηρίζει την παράδοση κυττάρων σε συνδεδεμένη κατάσταση.

vii. Επίδραση της ανάπτυξης του δικτύου στο παρόν δίκτυο

Η πολυπλοκότητα και το κόστος της ανάπτυξης του δικτύου είναι τα κύρια προβλήματα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Όσον αφορά το NB-IoT για χειριστές που δεν έχουν αναπτύξει το LTE FDD, η ανάπτυξη του NB-IoT είναι πιο κοντά στην ανάπτυξη ενός ολοκαίνουριου δικτύου που περιλαμβάνει την κατασκευή νέου ασύρματου δικτύου, βασικού δικτύου και δομής μετάδοσης. Εν τω μεταξύ, αν δεν υπάρχει έτοιμο φάσμα αδράνειας, τότε

απαιτείται προσαρμογή της Standalone λειτουργίας με το φάσμα του παρόντος δικτύου. Ωστόσο, για χειριστές που έχουν ήδη αναπτύξει το LTE FDD, ο υπάρχων εξοπλισμός και το φάσμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη του NB-IoT οπότε η ανάπτυξη είναι απλούστερη. Ανεξάρτητα από το σύστημα στο οποίο βασίζεται η κατασκευή, απαιτείται ανεξάρτητη ανάπτυξη πυρήνα δικτύου ή αναβάθμιση εξοπλισμού του παρόντος δικτύου.

Εάν το δίκτυο eMTC αναπτύσσεται με βάση το δίκτυο 4G, από την άποψη του ασύρματου δικτύου, το λογισμικό μπορεί να αναβαθμιστεί όσον αφορά το κεντρικό δίκτυο και η ανάπτυξη μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αναβάθμισης λογισμικού.

viii. Λειτουργία υπηρεσίας

Η απόδοση του NB-IoT είναι ανώτερη όταν πρόκειται για την κάλυψη, την κατανάλωση ενέργειας, το κόστος και τον αριθμό σύνδεσης αλλά το μειονέκτημα είναι πως δεν μπορεί να ανταποκριθεί σε απαιτήσεις υπηρεσιών όπως η κινητικότητα, η μέση ταχύτητα και η φωνή. Έτσι, είναι κατάλληλο για εφαρμογές LPWA που απαιτούν χαμηλό ρυθμό και χαμηλή κινητικότητα.

Προς το παρόν, η απόδοση του eMTC είναι ασθενέστερη από την απόδοση του NB-IoT σε θέματα κάλυψης και κόστους μονάδας, αλλά η απόδοση του eMTC είναι ανώτερη από την απόδοση του NB-IoT σε πτυχές της ταχύτητας αιχμής, της κινητικότητας και της ικανότητας υποστήριξης φωνής. Έτσι, είναι κατάλληλο για σκληρές εφαρμογών IoT με μέσο ρυθμό απόδοσης και κινητικότητας ή υψηλότερες απαιτήσεις για ικανότητα υποστήριξης φωνής. Επομένως, οι περιπτώσεις χρήσης του δικτύου eMTC είναι περισσότερες και η σχέση μεταξύ εφαρμογής και ανθρώπου είναι πιο άμεση.

ix. Ολοκληρωμένη απόδοση

Γενικά τόσο το NB-IoT όσο και το eMTC έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η λεπτομερής σύγκριση δεικτών φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Το NB-IoT έχει καλύτερη απόδοση σε εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και υπηρεσίες χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Εκτός αυτού, το NB-IoT υποστηρίζει τεράστιες συνδέσεις, ευρεία κάλυψη και χαμηλό κόστος. (24)

Technical index		NB-IoT	LTE FDD eMTC	LTE TDD eMTC(3:1)
Carrier bandwidth		200kHz	1.4MHz	1.4MHz
Peak rate	Uplink	66.7kbps	375kbps(half duplex)/1Mbps(full duplex)	200kbps
	Downlink	32.4kbps	FD:800kbps,HD:300kbps	750kbps
Coverage(compared with GSM)		Increased 20dB	Increased 11dB	
Power consumption		About 10 years	About 10 years	
Module cost		Less than \$5 initially	Weaker than NB	
Connection		About 50 thousands/cell	Less than \$10 initially	
Mobility		Cell reselection in idel stage	Cell switch in connection stage	
Phonetic ability		Nonsupport	Limited capacity	Weaker than FDD

Εικόνα 11: Σύγκριση μεταξύ NB-IoT και eMTC (24)

4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ NB-IoT ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Λόγω της ταχείας ανάπτυξης υπηρεσιών IoT χαμηλού ρυθμού δεδομένων με έξυπνο τρόπο, η LPWA τεχνολογία γίνεται όλο και πιο δημοφιλής στη βιομηχανία και το μερίδιο της αγοράς αυξάνεται σταδιακά. Οι έξυπνες εφαρμογές IoT μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες με βάση τις απαιτήσεις ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων το 2020.

Global M2M/IoT connection distribution in 2020	Category	Network connection techniques	Fine-grained market opportunity
10 %	High data rate (>10Mbps), e.g. C-CTV, eHealth	3G-HSPA/EVDO/TDS	Big profit margin for car navigation/entertainment system
		4G-LTE/LTE-A	
		WiFi 802.11 technologies	
30 %	Medium data rate (<1Mbps), e.g. POS, Smart Home, M2M Backhaul	2G-GPRS/CDMA2K1X	2G M2M could be replaced by MTC/eMTC techniques
		MTC/eMTC	
60 %	Low data rate (<100Kbps), e.g. Sensors, Meters, Tracking Logistics Smart Parking, Smart agriculture...	NB-IoT	Various application cases; Main market for LPWA; Market vacancy
		SigFox	
		LoRa	
		Short Distance wireless connection, e.g. Zigbee	

Εικόνα 12: Τεχνολογία σύνδεσης του IoT το 2020 (24)

• Υψηλό ποσοστό μετάδοσης δεδομένων

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι υψηλότερος από 10Mbps. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης είναι 3G,4G και Wi-Fi. Χρησιμοποιούνται για απευθείας μετάδοση, για ηλεκτρονική υγειονομική περίθαλψη, για σύστημα πλοήγησης οχημάτων, για σύστημα ψυχαγωγίας κ.λπ. Το αναμενόμενο μερίδιο αγοράς για τέτοιου είδους εφαρμογές είναι 10%.

• Μέτριο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι χαμηλότερος από 1Mbps. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης είναι 2G και MTC/eMTC. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν μηχανή POS, έξυπνο σπίτι και M2M σύνδεσμο επιστροφής. Το αναμενόμενο μερίδιο αγοράς για τέτοιου είδους εφαρμογές IoT είναι 30%. Ωστόσο, στο μέλλον το 2G M2M θα αντικατασταθεί σταδιακά από την τεχνολογία MTC/eMTC.

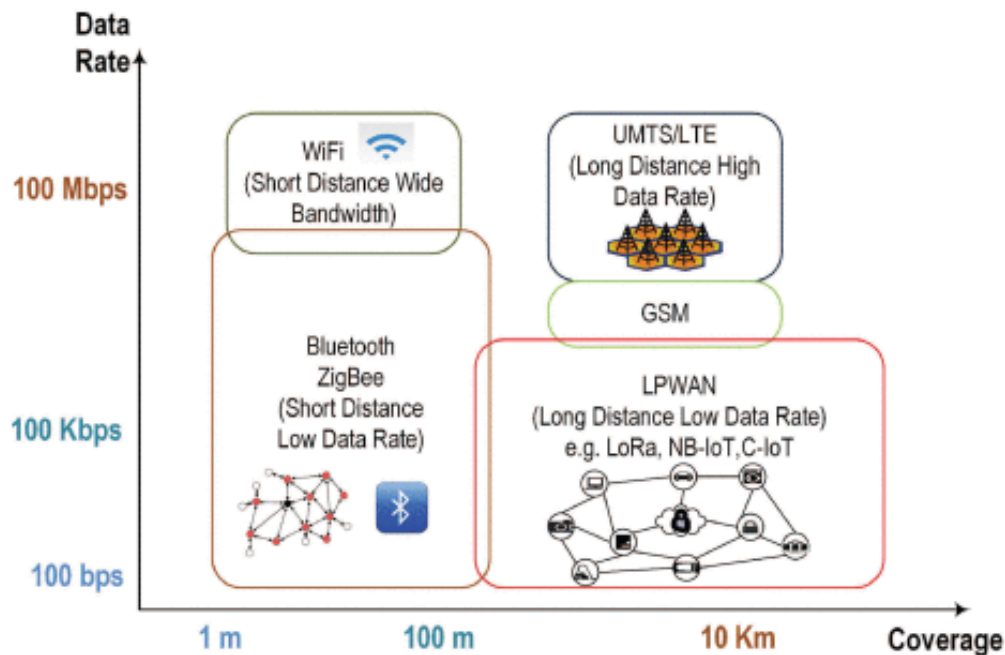
• Χαμηλό ποσοστό μετάδοσης δεδομένων

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι χαμηλότερος από 100Kbps. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες πρόσβασης είναι NB-IoT, SigFox, LoRa και ασύρματες επικοινωνίες μικρής εμβέλειας όπως το ZigBee. Εφαρμόζονται κυρίως σε τεχνολογίες LPWA, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, έξυπνης μέτρησης, παρακολούθησης αγαθών, logistics, στάθμευσης και έξυπνης γεωργίας. Το αναμενόμενο μερίδιο αγοράς για τέτοιου είδους εφαρμογές IoT είναι 60%. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές κενές θέσεις στην αντίστοιχη αγορά. Ως εκ τούτου, το NB-IoT θα έχει λαμπρό μέλλον.

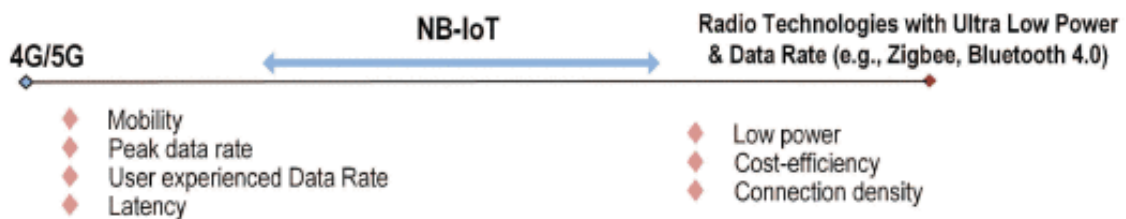
Η σύγκριση μεταξύ LPWAN που αντιπροσωπεύεται από το NB-IoT και πολλών άλλων τρόπων επικοινωνίας από διαφορετικές οπτικές γωνίες παρουσιάζεται στις εικόνες 15. Στην εικόνα 15 (α), τα ταξινομούμε από τις πτυχές της περιοχής κάλυψης και του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. Για τεχνολογίες επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και υψηλού εύρους ζώνης όπως το Wi-Fi, η μέγιστη κάλυψη μπορεί να φτάσει τα 100m και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να είναι έως 100Mbps. Αυτό το είδος επικοινωνιακής τεχνολογίας είναι κατάλληλο για εφαρμογές με απαιτήσεις μικρού και υψηλού εύρους ζώνης. Στην περίπτωση τεχνολογιών επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και χαμηλής μετάδοσης δεδομένων, όπως το Bluetooth και Zigbee, η μέγιστη περιοχή κάλυψης είναι επίσης 100m και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να είναι έως 100Kbps. Από την άλλη πλευρά, για το GSM η μέγιστη περιοχή κάλυψης είναι 10km και ο υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης είναι 100kbps. Οι τεχνολογίες επικοινωνίας με ρυθμό μετάδοσης μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής απόδοσης δεδομένων, όπως το

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

LPWA, έχουν περιοχή κάλυψης 10km και ο υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 100kbps. (28)



(a)



(b)

Εικόνα 13: Σύγκριση μεταξύ NB-IoT και άλλων ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας: α) Σύγκριση διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας β) NB-IoT αντισταθμίσεις σχεδιασμού (24)

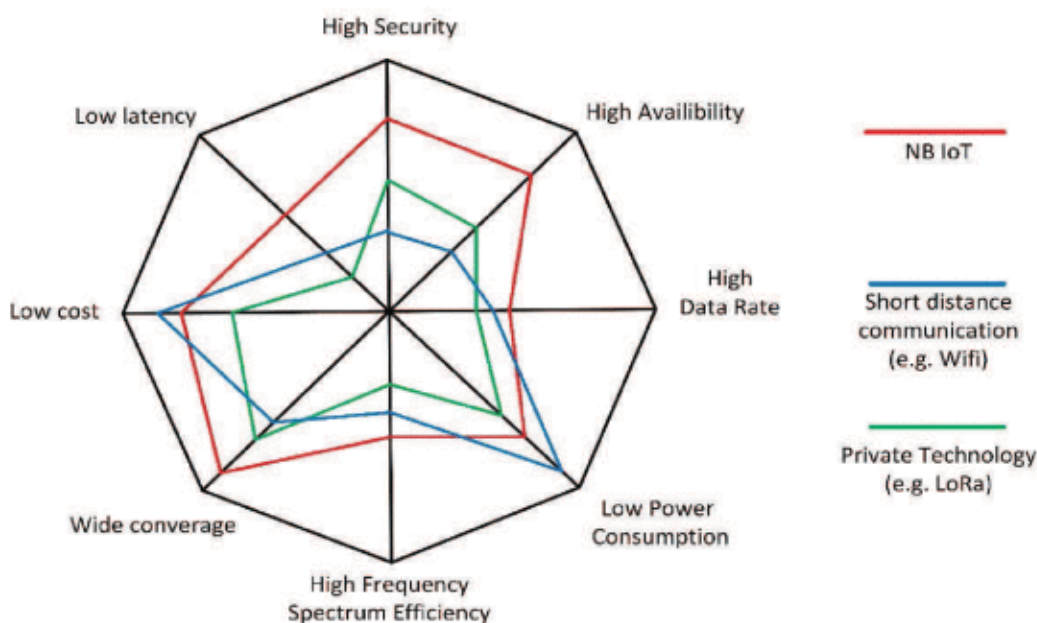
Ο αντισταθμικός σχεδιασμός της τεχνολογίας NB-IoT παρουσιάζεται στην εικόνα 15(β). Παίρνει και τα δύο πλεονεκτήματα της τεχνολογίας 4G/5G, δηλαδή την κινητικότητα, το ρυθμό αιχμής και το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και τα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής κατανάλωσης όπως η τεχνολογία Zigbee, δηλαδή η εντατική μετάδοση και το χαμηλό κόστος. Το NB-IoT επιχειρεί να πραγματοποιήσει κατανάλωση χαμηλής ισχύος και ασύρματη επικοινωνία ευρείας περιοχής χρησιμοποιώντας narrow-band τεχνολογία. (29)

Στην παρακάτω εικόνα συγκρίνουμε 8 παραστάσεις που περιλαμβάνουν τιμή, λανθάνοντα χρόνο, ασφάλεια, διαθεσιμότητα, ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, κατανάλωση ενέργειας, αποδοτικότητα φάσματος και περιοχή κάλυψης μεταξύ NB-IoT, τεχνολογία επικοινωνίας μικρών αποστάσεων όπως Wi-Fi και μία ιδιωτική τεχνολογία όπως το LoRa. Όπως μπορούμε να καταλάβουμε τόσο η τεχνολογία επικοινωνίας μικρής απόστασης όσο και η ιδιωτική τεχνολογία έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ωστόσο, το NB-IoT έχει καλύτερη απόδοση. Για παράδειγμα, το NB-IoT είναι ανώτερο από δύο άλλες τεχνολογίες σε θέματα χαμηλού λανθάνοντα χρόνου, υψηλής διαθεσιμότητας, υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, υψηλή απόδοσης φάσματος και ευρείας περιοχής κάλυψης. Επιπλέον,

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

όσον αφορά τη χαμηλή τιμή και τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η απόδοση του NB-IoT είναι μεταξύ των επιδόσεων της επικοινωνίας μικρής απόστασης και της ιδιωτικής τεχνολογίας. Συνοπτικά, το NB-IoT θα παρέχει καλύτερο τρόπο επικοινωνίας σε σύγκριση με άλλες δύο τεχνολογίες.

Strengths of NB IoT over Short Distance communication and Private Technology



Εικόνα 14: Σύγκριση απόδοσης του NB-IoT, Wi-Fi και LoRa (24)

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα σύγκρισης που πραγματοποιήσαμε μεταξύ NB-IoT και LoRa.

Item	NB-IoT	LoRa
Power consumption	Low(10 years battery life)	Low(10 years battery life)
Cost	Low	Lower than NB-IoT
Safety	Telecom level security	Slight interference
Accuracy rate	High	High
Coverage	<25 km (resend supported)	<11 km
Deployment	Rebuild supported based on LTE FDD or GSM	Inconvenience

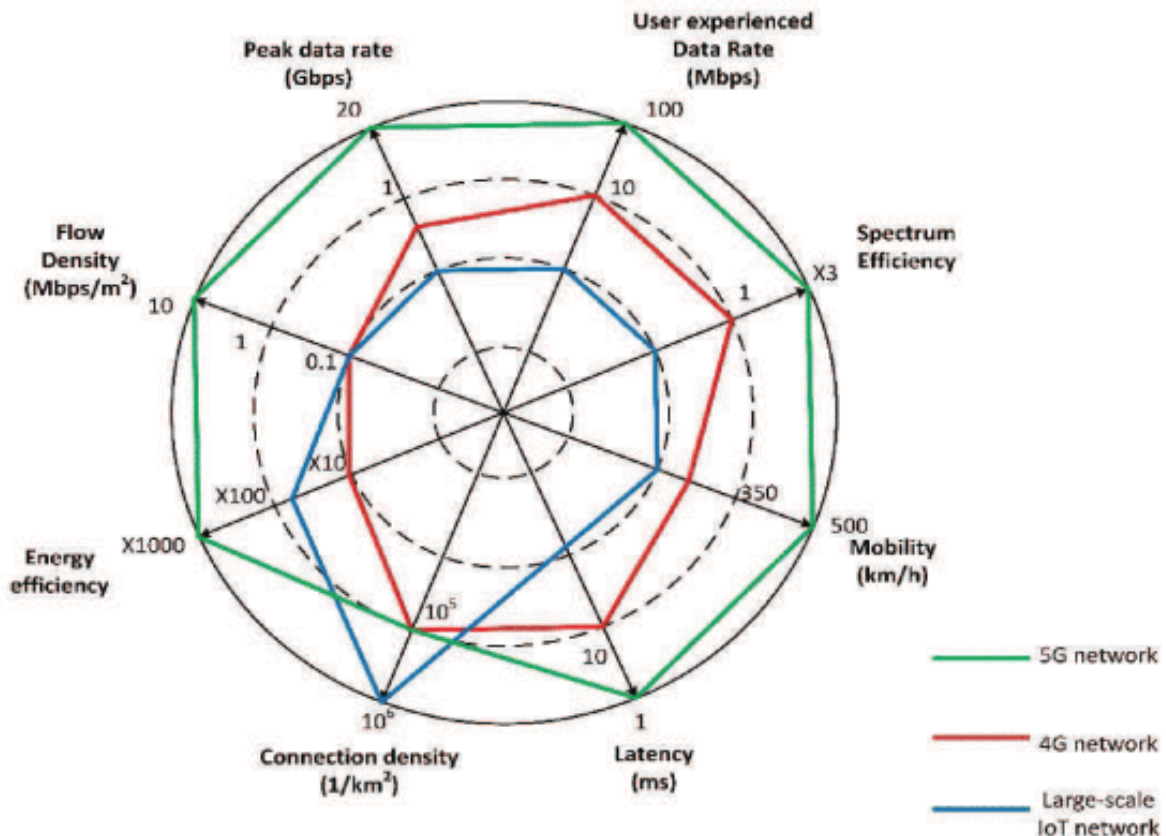
Εικόνα 15: Σύγκριση μεταξύ NB-IoT και LoRa (24)

Η παραπάνω εικόνα δείχνει ότι το NB-IoT μπορεί να ευδοκιμεί στο δίκτυο σε επίπεδο χειριστή στο μέλλον. Επιπλέον, το NB-IoT θα μπορούσε να μας προσφέρει πολλές Παπαδημητρίου Ηλιάνα – AM:6170

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

λύσεις δικτύου που παρέχουν ευρεία περιοχή κάλυψης, μεγάλη πυκνότητα σύνδεσης και IoT χαμηλού κόστους. Επιπροσθέτως, λόγω της ταχείας και ευέλικτης ανάπτυξης, το LoRa θα μπορούσε επίσης να πραγματοποιηθεί σε έξυπνες πόλεις, αποκλειστικές βιομηχανικές και εταιρικές εφαρμογές. Ωστόσο, μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι αυτές οι δύο τεχνολογίες LPWA είναι συμπληρωματικές στην εμπορική χρήση.

Ξεκινώντας από την εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών, συγκρίναμε την απόδοση του LPWAN και του δικτύου κινητής επικοινωνίας (που αντιπροσωπεύεται από 4G και 5G) από 8 πτυχές: μέγιστο ρυθμό δεδομένων με εμπειρία χρήστη, απόδοση φάσματος, κινητικότητα, λανθάνουσα κατάσταση, πυκνότητα σύνδεσης, ενεργειακή απόδοση και πυκνότητα ροής. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, το LPWAN είναι ανώτερο από το δίκτυο 4G/5G σε πυκνότητα σύνδεσης αλλά όχι τόσο καλό όσο και σε άλλες πτυχές. Η υπεροχή του δικτύου 5G είναι ιδιαίτερη εμφανής. Επιπλέον, η ενεργειακή απόδοση του LPWAN είναι υψηλότερη από την ενεργειακή απόδοση του δικτύου 4G αλλά και χαμηλότερη από την ενεργειακή απόδοση του δικτύου 5G. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ότι το LPWAN μπορεί να εφαρμοστεί σε εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλό ρυθμό απόδοσης δεδομένων και μεγάλη πυκνότητα σύνδεσης. Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα του LPWAN, το οποίο δεν το παρουσιάζουμε στο παρακάτω σχήμα, είναι το χαμηλό κόστος. Επομένως, το LPWAN, που αντιπροσωπεύεται από την NB-IoT, έχει μεγάλες δυνατότητες στον τομέα IoT. (30)



Εικόνα 16: Σύγκριση απόδοσης του LPWAN, 4G και 5G (24)

Στην συνέχεια, σε σύγκριση με την προηγούμενη τεχνολογία LTE IoT, η απόδοση του LTE Machine to Machine έχει βελτιωθεί σημαντικά, σε αντίθεση με εκείνη των τεχνολογιών 1G, 2G και 3G. Το LTE-M καταλαμβάνει μόνο εύρος ζώνης 1MHz, ενώ το NB-IoT αποδίδει καλύτερα με εύρος ζώνης 200kHz. Ωστόσο, τόσο το LTE-M όσο και το NB-IoT μειώνουν σε μεγάλο βαθμό το εύρος ζώνης των 20MHz που χρησιμοποιήθηκε

στο παρελθόν, αλλά ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων τους μειώνεται αντίστοιχα από 1Mbps σε 200kbps. Κατά συνέπεια, λόγω του χαμηλότερου εύρους με το ποσοστό πληρότητας, το NB-IoT είναι πιο βολικό για προώθηση και ανάπτυξη.

Εκτός αυτού, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η ευρεία κάλυψη μπορούν να επιτευχθούν από το NB-IoT, του οποίου η περιοχή κάλυψης είναι μέχρι και 20km. Προκειμένου να επιτευχθεί η κάλυψη στόχου, γενικά προτείνεται ότι το NB-IoT πρέπει να πραγματοποιείται σε ζώνη χαμηλότερης συχνότητας, στα 700MHz, 800MHz, 900MHz ή σε άλλες ζώνες συχνοτήτων μικρότερες από 1GHz. Επιπλέον, πρέπει να σημειώσουμε ότι η κάλυψη περιλαμβάνει όχι μόνο την απόσταση αλλά και τη δυνατότητα διείσδυσης. Η ισχύς του σήματος είναι 20dB υψηλότερη. Επομένως, ακόμη και στο εσωτερικό περιβάλλον, μπορούμε να αποκτήσουμε επικοινωνία υψηλής ποιότητας.

Το τρέχον εύρος ζώνης καναλιού του IEEE 802.11ah είναι 1/2/4/8/16 MHz, παρόμοιο με το εύρος ζώνης LTE-M. Γενικά, το Zigbee απαιτεί εύρος ζώνης καναλιού 2-5MHz. Η εξαίρεση είναι το Zigbeesta 868MHz στην ευρωπαϊκή περιοχή που καταλαμβάνει εύρος ζώνης 800kHz, το οποίο είναι κατώτερο από το εύρος ζώνης NB-IoT. Επιπλέον, η απόσταση μετάδοσης 11Ah πρέπει να δοκιμαστεί. Η τρέχουσα απόσταση είναι μόνο 1χμλ, η οποία είναι κατώτερη από την απόσταση NB-IoT, η οποία είναι από αρκετά έως 20 χιλιόμετρα.

Σύμφωνα με τις τρέχουσες προτάσεις, ο σταθμός βάσης LTE ή LTE-M2M πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίζει 100.000 τερματικά ή τουλάχιστον 50.000 τερματικά. Στην πραγματικότητα, παρόμοιος στόχος έχει επίσης προταθεί από την 5G. Στο τρέχον στάδιο, η απαίτηση για 5G είναι 1.000.000 τερματικά ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, δηλαδή ένας τερματικός σταθμός ανά τετραγωνικό μέτρο. Αντιθέτως, η απαίτηση NB-IoT εξακολουθεί να μην είναι αυστηρή.

Επιπλέον, συγκρίναμε σχετικές εφαρμογές τριών τεχνολογιών. Η κατηγορία 0 που διατυπώνεται στο 3GPP χρησιμοποιείται κυρίως για φορητά ηλεκτρονικά και διαχείριση ενέργειας ή για να είναι πιο συγκεκριμένη, για έξυπνα ρολόγια που βασίζονται στη φυσική κατάσταση και τον έλεγχο κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Ωστόσο, το LTE-M με εύρος ζώνης 1MHz αναμένεται να χρησιμοποιηθεί για παρακολούθηση αντικειμένων όπως χαμένων κατοικίδιων ζώων, κλεμμένων ποδηλάτων και άλλων περιπτώσεων, μέτρησης υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, διαδικτυακής διάγνωσης και παρακολούθησης υγείας και κατασκευή δημοτικών υποδομών όπως για παράδειγμα διαχείριση λαμπτήρων δρόμου. Ωστόσο, το NB-IoT χρησιμοποιείται εν μέρη σε βιομηχανικές εφαρμογές όπως η παρακολούθηση περιβάλλοντος και η έξυπνη κατασκευή.

Στην πραγματικότητα, το NB-IoT μπορεί να ανταγωνιστεί πολλές τρέχουσες και μελλοντικές τεχνολογίες επικοινωνίας. Επιπλέον, υπάρχουν σχέδια μετάδοσης που διατυπώνονται και προωθούνται από εταιρείες chip όπως για παράδειγμα το σχέδιο για έξυπνο δίκτυο και σταθμό φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα με βάση το Zigbee με NAN(Neighborhood Area Network) ως τεχνολογία εντοπισμού. (24)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΕΞΥΠΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ NB-IoT

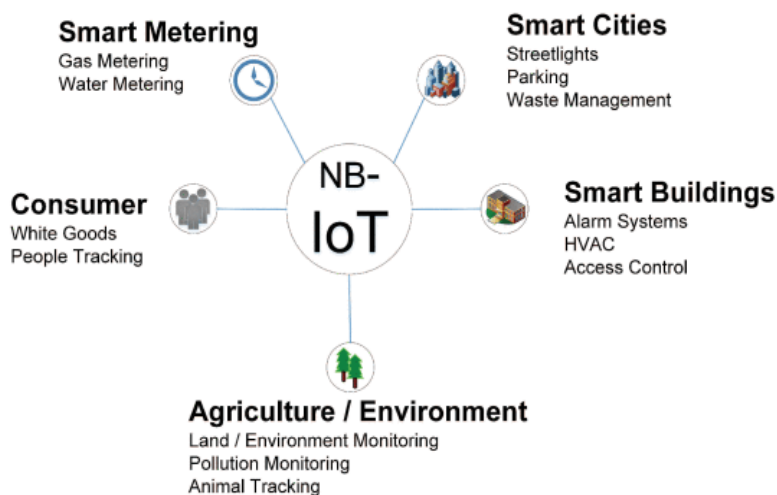
5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εξαιτίας των χαρακτηριστικών της, η τεχνολογία NB-IoT μπορεί να γνωρίσει απαιτήσεις υπηρεσίας χαμηλής χαμηλής μετάδοσης δεδομένων σε συνδυασμό με την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, τον μεγάλο χρόνο αναμονής, την ευρεία κάλυψη και την μεγάλη χωρητικότητα. Ωστόσο, είναι δύσκολο να επιτύχουμε μεγάλη κινητικότητα. Επομένως, η συγκεκριμένη τεχνολογία ταιριάζει καλύτερα σε στατική, χαμηλής ευαισθησία στην καθυστέρηση, ασυνεχή κίνηση ή και σε υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Με βάση αυτά, μπορούμε να διακρίνουμε μερικές από τις επόμενες υπηρεσίες.

- Αυτόνομες υπηρεσίες αναφοράς όπως είναι για παράδειγμα οι ειδοποιήσεις που προέρχονται από έξυπνους μετρητές ανίχνευσης καπνού. Το μέγεθος των δεδομένων του uplink είναι αρκετά μικρό (10 bytes) και ο κύκλος μετάδοσης είναι συνήθως ένα έτος ή ένας μήνας.
- Αυτόνομες υπηρεσίες με περιοδικές αναφορές, όπου το μέγεθος των uplink δεδομένων είναι και εδώ σχετικά μικρό, δηλαδή περίπου 100 bytes και ο κύκλος μετάδοσης είναι μία μέρα ή μία ώρα. Τυπικές εφαρμογές που μπορούμε να αναφέρουμε σε αυτή την κατηγορία είναι οι αναφορές μέτρησης που αφορούν έξυπνες κοινής ωφέλειας, όπως είναι το ρεύμα, το νερό και το αέριο. Επίσης, μπορούμε να αναφέρουμε την έξυπνη γεωργία καθώς και το έξυπνο περιβάλλον.
- Υπηρεσίες εντολών δικτύου. Αυτός ο τύπος υπηρεσιών περιλαμβάνει την εκκίνηση, το κλείσιμο, την αποστολή uplink αναφορών, τις απαιτήσεις μετρήσεις. Αυτή η κατηγορία διαφέρει από την πρώτη, καθώς εδώ το μέγεθος των downlink δεδομένων είναι αρκετά μικρό, δηλαδή 10 byte, και ο κύκλος μετάδοσης είναι μία μέρα ή μία ώρα.
- Υπηρεσίες αναβάθμισης λογισμικού. Το μέγεθος αναβάθμισης του λογισμικού τόσο σε uplink όσο και σε downlink δεδομένα είναι αρκετά μεγάλο δηλαδή είναι 1000 bytes και ο κύκλος μετάδοσης είναι συνήθως μία μέρα ή και μία ώρα.

Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε και από την παρακάτω εικόνα, οι συγκεκριμένες εφαρμογές της NB-IoT τεχνολογίας μπορεί να υποστηριχτεί σε έξυπνες πόλεις, έξυπνα κτήρια, έξυπνο περιβάλλον, έξυπνες υπηρεσίες για τον χρήστη και σε έξυπνες μετρήσεις. Όταν αναφερόμαστε σε έξυπνες υπηρεσίες για τον χρήστη εννοούμε για παράδειγμα συσκευές που μπορούν να φορευθούν(για παράδειγμα ένα έξυπνο ρολόι), έξυπνο σπίτι, έξυπνος κάδος απορριμμάτων και εντοπισμός ανθρώπων. Η έξυπνη παρακολούθηση του περιβάλλοντος περιλαμβάνει την έξυπνη γεωργία, την παρακολούθηση της ρύπανσης, την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων και την παρακολούθηση της κατάστασης του εδάφους.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 17: Έξυπνη εφαρμογή του NB-IoT (31)

Η έξυπνη πόλη στοχεύει στη διασύνδεση δημόσιων εγκαταστάσεων, όπως οχημάτων, δρόμων, λαμπτήρων, χώρων στάθμευσης, φρεατίων, σκουπιδιών, μετρητών ηλεκτρικού ρεύματος, μετρητών νερού, αερίων και θερμότητας με σκοπό να κατανοήσουμε την έξυπνη διαχείριση υποδομών όπως των υδάτων, του ηλεκτρισμού και των αερίων στην πόλη. Επίσης, στοχεύει στην έξυπνη διαχείριση της κυκλοφορίας όπως για παράδειγμα τον έξυπνο έλεγχο της, την ανάλυση της οδικής κατάστασης που επικρατεί, την ικανότητα ανταπόκρισης σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, ο έξυπνος χώρος στάθμευσης, ο οποίος θα βοηθήσει με την σειρά του στην υλοποίηση του δικτύου 5G για οχήματα. Το πιο σημαντικό όμως χαρακτηριστικό της έξυπνης πόλης είναι η επικοινωνιακή κάλυψη που καλύπτει ολόκληρο το δίκτυο IoT. Με την σταδιακή καθιέρωση του προτύπου NB-IoT, είναι εύκολο να διαμορφωθεί μία εμπεριστατωμένη αναφορά χρησιμοποιώντας την εμπειρία των χρηστών στην κατασκευή ενός δικτύου μεγάλης κλίμακας στις πόλεις. Όπως έχουμε αναφέρει αρκετές φορές ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του NB-IoT είναι η βαθιά και ευρεία κάλυψη. Ακόμη και το υπόγειο ή και το πάρκινγκ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Επομένως, πολλά προβλήματα που απασχολούσαν τον κλάδο της βιομηχανίας από το παρελθόν επιλύονται χάρη στην καινούρια αυτή τεχνολογία ομαλά και πρωτοπόρα. Η κύρια πρόκληση του NB-IoT είναι η ανακατασκευή του τρόπου λειτουργίας της κυκλοφορίας. Το 2017, ο Lu et al πρότεινε μία πλατφόρμα NB-IoT που αποσκοπούσε στην παρακολούθηση εναέριων οχημάτων σε έξυπνες πόλεις, γεγονός που εμπόδιζε την πτώση των επιβατικών αεροσκαφών με αποτελεσματικό τρόπο.

5.2 ΕΞΥΠΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Η επαλήθευση της λειτουργικότητας του NB-IoT για την έξυπνη μέτρηση, για την έξυπνη στάθμευση και την έξυπνη υπηρεσία απορριμμάτων έγινε συλλογικά από την Huawei και από κάποιους άλλους παγκόσμιους οργανισμούς στην Κίνα, την Γερμανία, την Ισπανία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα αλλά και άλλες χώρες. Η πρώτη μη εμπορική δοκιμή του προτύπου NB-IoT ολοκληρώθηκε από την Vodafone και την Huawei στα τέλη του 2015 στην Ισπανία, η οποία επιτυχώς ενσωμάτωσε την τεχνολογία αυτή σε ένα υπάρχον δίκτυο κινητής τηλεφωνίας της Vodafone. Συγκεκριμένα, ένα NB-IoT μήνυμα στάλθηκε στην IoT μονάδα ενός μετρητή υδάτων. Συνήθως, ο μετρητής νερού τοποθετείται σε κρυφό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα, μία ντουλάπα και η σύνδεση στην πηγή ενέργειας δεν είναι διαθέσιμη για τον μετρητή υδάτων. Σε τέτοιες συνθήκες, η τεχνολογία NB-IoT επιλύει αποτελεσματικά τα προβλήματα κακής κάλυψης και τα προβλήματα μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας.

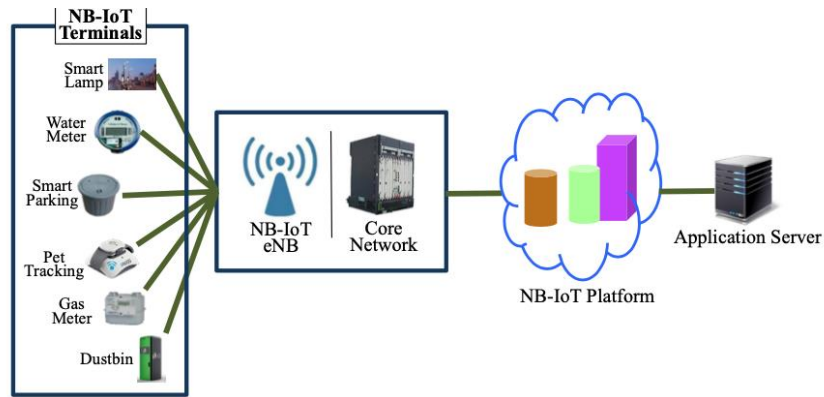
Πρόσφατα όμως, η εμπορική δοκιμή και η συνεργασία μεταξύ της Huawei και της China Unicom/China Mobile ξεκίνησαν και επίσημα. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε πως στο Mobile World Congress που πραγματοποιήθηκε το 2015, η πρώτη εφαρμογή πειράματος, ο έξυπνος χώρος στάθμευσης με βάση το εμπορικό δίκτυο αναπτύχθηκε από την Huawei, China Unicom και την Shanghai Branch. Αξίζει να σημειώσουμε ότι επειδή μέχρι τότε η τυποποίηση του NB-IoT δεν είχε ολοκληρωθεί, οι προ-εμπορικές υπηρεσίες αφορούσαν μη τυποποιημένα συστήματα. Ωστόσο, η διαφορά δεν μπορεί να είναι μεγάλη σε σχέση με το μελλοντικό πρότυπο που πρόκειται να εδραιωθεί για υπηρεσίες που αφορούν την τεχνολογία αυτή. Μερικές πραγματικές εφαρμογές του NB-IoT είναι οι παρακάτω:

- Έξυπνη λύση στάθμευσης από την Huawei και την China Unicom. Βασισμένη στην μονάδα NB-IoT της Huawei, αυτό το έξυπνο σύστημα στάθμευσης είναι σε θέση να πραγματοποιήσει λειτουργίες όπως η κράτηση χώρου στάθμευσης και η υπεκμίσθωση. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η υψηλή διαπερατότητα κάνουν αυτό το σχήμα πιο αξιόπιστο. Σήμερα, αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται στην προ-εμπορική υπηρεσία στο Shanghai Disney Resort.
- Έξυπνο σκέπαστρο που κατασκευάστηκε από την Zhongxing Telecom και την China Mobile. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή η κατάσταση των φρεατίων παρακολουθείται από και προς όλες τις κατευθύνσεις. Έχει την δυνατότητα να πραγματοποιήσει παρακολουθήσεις σε πραγματικό χρόνο ανεξάρτητα από το άνοιγμα ή την μετακίνηση του σκεπάστρου. Τα πλεονεκτήματα αυτής της εφαρμογής που βασίζεται στο NB-IoT περιλαμβάνουν χαμηλό κόστος, ευρεία κάλυψη, χαμηλή ισχύ και μεγάλη σύνδεση και μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά την περιοχή κάλυψης του συστήματος παρακολούθησης έξυπνων σκεπαστρών, να εξαλείψει τις νεκρές γωνίες και ταυτόχρονα να μειώσει την κατασκευή και να διατηρήσει χαμηλό το κόστος.
- Εφαρμογή παρακολούθησης περιβάλλοντος από την China Mobile, την Ericsson και την Intel. Με την βοήθεια του καινούριου μικροεπεξεργαστή NB-IoT ο οποίος είναι ο Intel XMM7115, αυτή η εφαρμογή είναι σε θέση να πραγματοποιήσει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο για την θερμοκρασία, την υγρασία και την φωτεινότητα. (32)

5.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NB-IoT ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Έχει αναφερθεί πως η NB-IoT τεχνολογία έχει εφαρμοστεί όχι μόνο στις παραδοσιακές επιχειρήσεις όπως για παράδειγμα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, έξυπνη μέτρηση αλλά και σε πολλές αναδυόμενες βιομηχανίες όπως για παράδειγμα η έξυπνη πόλη και η ηλεκτρονική υγεία. Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζουμε μία αρχιτεκτονική εφαρμογών. Το πλαίσιο αποτελείται από τα εξής τέσσερα στοιχεία τα οποία είναι: τερματικοί σταθμοί NB-IoT, τα δίκτυα λήψης και μετάδοσης δεδομένων, την πλατφόρμα cloud NB-IoT και έναν διακομιστή εφαρμογών. Όταν αναφερόμαστε σε τερματικούς σταθμούς εννοούμε έξυπνους λαμπτήρες, μετρητές υδάτων και αερίων αλλά και κάδους απορριμμάτων, οι οποίοι συνδέονται με ένα σύνολο συσκευών NB, οι οποίες μεταδίδουν δεδομένα ανίχνευσης, τα οποία εξαρτώνται από την εφαρμογή, στους κυψελωτούς σταθμούς βάσης. Στην συνέχεια, τα δεδομένα μεταφέρονται στην πλατφόρμα cloud NB-IoT η οποία θα διαβιβάσει τα δεδομένα σε συγκεκριμένους διακομιστές εφαρμογών. Αυτό έχει σκοπό να μειώσει σημαντικά το κόστος ανάπτυξης μίας εφαρμογής.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 18: Αρχιτεκτονική NB-IoT εφαρμογής (33)

Ας πάρουμε για παράδειγμα μία έξυπνη εφαρμογή μέτρησης. Σε μία τέτοια εφαρμογή, η κατανάλωση ηλεκτρισμού, νερού και φυσικού αερίου θα πρέπει να συλλέγεται περιοδικά για τον προσδιορισμό της πληρωμής των χρηστών. Οι απαιτήσεις που υπάρχουν συμπεριλαμβάνουν του μαζικούς μετρητές με χαμηλό κόστος, την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με μακροχρόνια διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την βελτιωμένη εσωτερική κάλυψη. Επομένως ένα NB-IoT σύστημα μπορεί να ικανοποιήσει αυτές τις απαιτήσεις σε αρκετά καλό βαθμό. Επιπλέον, επιτρέπει διαφορετική πολιτική χρέωση με βάση τις πληροφορίες που συλλέγονται σε διαφορετική ώρα της ημέρας.

Οι διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές που υποστηρίζονται από την τεχνολογία NB-IoT μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες είναι: συσκευή IoT, προσωπική, δημόσια και βιομηχανική. Χάρης αυτή την τεχνολογία η διαχείριση και ο έλεγχος είναι πιο αποτελεσματικές μέσω βελτιώσεων στην ανάλυση δεδομένων. Οι εφαρμογές που αφορούν το προσωπικό IoT δημιουργούν μία προσωπική περιοχή δικτύου. Παραδείγματα αυτών αποτελούν τα wearables, τα έξυπνα ποδήλατα, η παρακολούθηση κατοικίδιων ζώων. Όσον αφορά το δημόσιο, όπως είναι εύκολο να διαπιστώσουμε αφορούν εφαρμογές που εξυπηρετούν το ευρύ κοινό. Για το IoT της βιομηχανίας, η τεχνολογία αυτή μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των επιχειρήσεων και της βιομηχανίας. Εδώ μερικά παραδείγματα που μπορούμε να αναφέρουμε είναι η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων και την έξυπνη βιομηχανία. Επομένως, μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως την χρήση της NB-IoT τεχνολογίας είναι αρκετά ελπιδοφόρο να πιστέψουμε πως μπορούμε να υλοποιήσουμε τέτοιου είδους εφαρμογές.

Όπως έχουμε ήδη παρατηρήσει κάθε αναφορά στο NB-IoT συνήθως περιλαμβάνει και το LTE-M. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι και τα δύο είναι χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, είναι LPWA τεχνολογίες και έχουν αναπτυχθεί για IoT εφαρμογές σε διαφορετικά γεωγραφικά πεδία. Αξίζει να σημειώσουμε, πως πολλές φορές όταν αναφερόμαστε στην αρχιτεκτονική του NB-IoT συνήθως συνδέεται με το LTE-M και αυτό συμβαίνει διότι οι δύο οι δύο αρχιτεκτονικές έχουν αρκετά κοινά στοιχεία. Η κύρια διαφορά των δύο αυτών αρχιτεκτονικών είναι πως το NB-IoT απαιτεί ένα στενότερο κανάλι εύρους ζώνης (200kHz σε σχέση με το 1,4MHz που απαιτεί το LTE-M). Πολλές εφαρμογές NB-IoT τοποθετούνται σε guard band ζώνη γιατί είναι ένας καλός τρόπος για τις εταιρίες να κερδίσουν χρήματα από το αχρησιμοποίητο φάσμα. Ωστόσο, οι συσκευές μπορούν να αναπτυχθούν και σε standalone ζώνη χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε διαθέσιμο φάσμα.

Παρόλο που αυτό παρέχει τεράστια ευελιξία στους φορείς κινητής τηλεφωνίας, υπάρχουν σημαντικά προβλήματα για έναν σχεδιαστή συσκευών όταν πρόκειται για

το roaming. Όταν αναφερόμαστε στον όρο roaming εννοούμε την δυνατότητα αποστολής και λήψης δεδομένων όταν ταξιδεύουν εκτός της περιοχής γεωγραφικής κάλυψης του οικιακού δικτύου. Η κατασκευή μίας συσκευής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά δίκτυα είναι στην πραγματικότητα πολύ πιο δύσκολη με το NB-IoT σε σχέση με το LTE-M καθώς οι συσκευές αυτές πρέπει να είναι διαμορφωμένες ώστε να χρησιμοποιούν συγκεκριμένες ζώνες από την αρχή.

Όπως είπαμε η αρχιτεκτονική είναι παρόμοια με εκείνη του LTE-M. Τα δομικά στοιχεία, τα οποία είναι τα ίδια είναι:

- **Κεραία**

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο κατασκευαστής θα συνεργάζεται με μία εταιρία κινητής τηλεφωνίας για την ανάπτυξη της συσκευής. Η εταιρία θα την αναπτύξει δίπλα σε μία LTE ζώνη, οπότε ο κατασκευαστής θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσει μία κεραία που λειτουργεί για αυτή την ζώνη.

Οι κεραίες έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένες συχνότητες. Δεν μπορούμε πάντα να έχουμε μία κεραία που να υποστηρίζει όλες τις πιθανές ζώνες NB-IoT. Αν το NB-IoT δίκτυο εμπίπτει με μία τυπική ζώνη GSM ή LTE, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μία κανονική κεραία, αλλά για μη παραδοσιακές ζώνες θα πρέπει ο κατασκευαστής να προσέξει περισσότερο. Η ζώνη που θα χρησιμοποιήσουμε καθορίζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της ρυθμιστικής δομής της χώρας στην οποία βρισκόμαστε, των στοιχείων του φάσματος που κατέχει η εταιρία κινητής τηλεφωνίας ή ο πάροχος δικτύου καθώς επίσης και πως επιλέγεται να αναπτυχθεί το NB-IoT. Συνήθως, για το LTE-M ένας χειριστής κινητής τηλεφωνίας θα χρησιμοποιήσει ένα υπάρχον μπλοκ πόρων LTE. Όμως, για το NB-IoT, οι διαχειριστές δικτύου ενδέχεται να τοποθετήσουν το δίκτυο στο φάσμα με άδεια που κατέχουν, το οποίο δεν εμπίπτει στις παραδοσιακές εκχωρήσεις κυψελοειδούς ζώνης.

- **NB-IoT module**

Στην συνέχεια, θα πρέπει να επιλέξουμε ένα modem, μία λειτουργική μονάδα, δηλαδή ένα module. Το chipset του NB-IoT είναι συνήθως ενσωματωμένο στο module. Το module που χρησιμοποιούμε πρέπει να είναι πιστοποιημένο από το Global Certification Forum όταν πρόκειται για παγκόσμια χρήση. Ιδανικά θα πρέπει επίσης να πιστοποιείται από μία εταιρία κινητής τηλεφωνίας όπως είναι η Verizon η οποία μειώνει το φόρτο πιστοποίησης.

- **Host**

Ο κεντρικός υπολογιστής είναι ο πίνακας συσκευών που φιλοξενεί κυριολεκτικά την εφαρμογή μας. Είναι ο μικροελεγκτής ή ο μικροεπεξεργαστής που τρέχει την εφαρμογή μας καθώς είναι και η διεπαφή σε όλα τα περιφερειακά όπως για παράδειγμα οι διαφορετικοί αισθητήρες. Ελέγχει το module και την πλατφόρμα υλικού.

Ο host είναι ίσως και το πιο σημαντικό κομμάτι καθώς στην πραγματικότητα είναι για αυτό για το οποίο ένας πελάτης πληρώνει τον κατασκευαστή. Θα πρέπει να υπάρχει έλεγχος της κατανάλωσης ενέργειας της εφαρμογής, οπότε ο σχεδιασμός ενός χαμηλού κατανάλωσης ενέργειας host είναι εξαιρετικά σημαντικός.

- **Κυτταρικό δίκτυο**

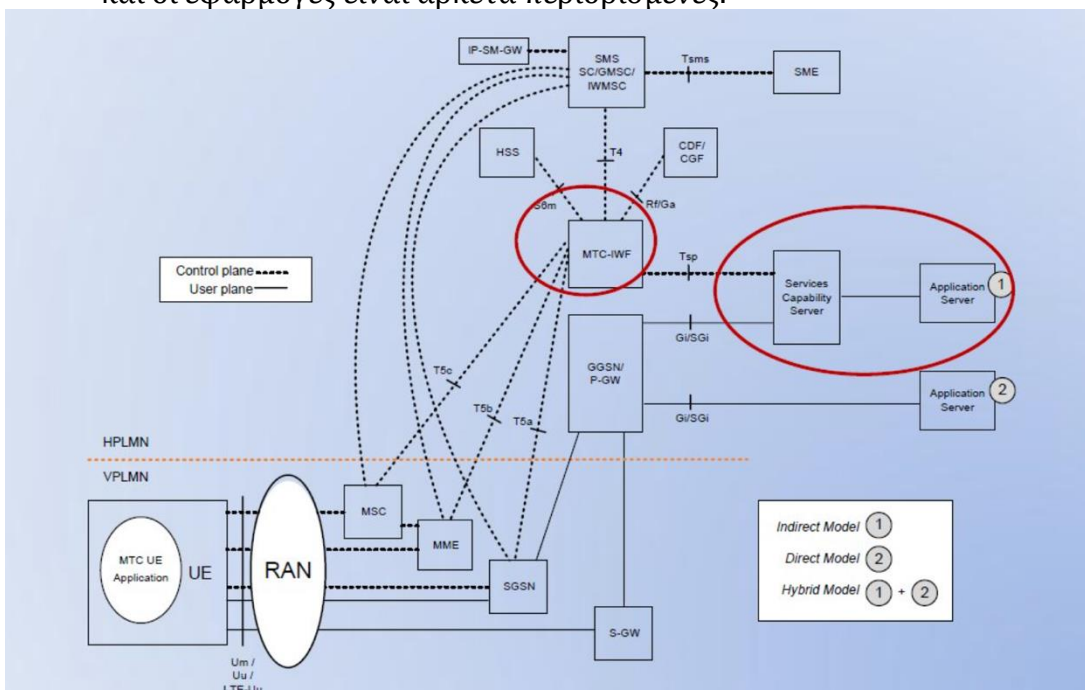
Επειδή η IoT συσκευή που χρησιμοποιούμε στέλνει μόνο μικρά πακέτα δεδομένων, είναι γενικά καλύτερο να χρησιμοποιούμε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας συσκευών που δεν βασίζεται σε IP, το οποίο είναι αρκετά διαφορετικό από τον τρόπο που τα περισσότερα modem αλληλεπιδρούν με ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, μέσω του τυπικού TCP/IP. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε TCP/IP με NB-IoT αλλά το κόστος θα είναι υψηλό, κάτι που είναι αντίθετο με τον λόγο που σχεδιάστηκε το NB-

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

IoT.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του 3GPP υπάρχουν δύο βασικές επιλογές Network Attach για υποστήριξη συνδεσιμότητας. (34)

1. Attach με PDN σύνδεση: Ο εξοπλισμός χρήστη είναι απαραίτητος προκειμένου για να δημιουργηθεί μία PDN σύνδεση. Αυτό ισχύει για όλες τις εκδόσεις 3GPP EPS από την έκδοση 13 και πάνω.
2. Attach χωρίς PDN σύνδεση: Πρόκειται για μία καινούρια δυνατότητα που έχει εισαχθεί στην έκδοση 13 για να επιτρέπει στον εξοπλισμό του χρήστη να υποστηρίζει βελτιστοποιήσεις CIoT και να παραμένουν συνδεδεμένες χωρίς να υπάρχει PDN σύνδεση, κάτι που μπορεί να είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου τεράστιος αριθμός συσκευών θα διατηρούσαν μία σύνδεση ανενεργή για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα και σπάνια μεταδίδουν δεδομένα από αυτήν. Σε αυτή την περίπτωση, μόνο η υπηρεσία μηνυμάτων είναι διαθέσιμη για μετάδοση δεδομένων και οι εφαρμογές είναι αρκετά περιορισμένες.



Εικόνα 19: 3GPP Αρχιτεκτονική Machine Type Communication (NB-IoT και LTE-M roaming) (35)

Υπάρχουν διαφορετικές επιλογές σύνδεσης δεδομένων για συνδέσεις PDN διαθέσιμες σε συσκευές IoT χρησιμοποιώντας το Evolved Packet System:

- IP over Control Plane
- IP over User Plane
- Non-IP over Control Plane
- Non-IP User Plane

Η συσκευή σύμφωνα με το PSM και το eDRX, επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ωστόσο, υπάρχει επίσης η επιλογή να ζητήσουμε από τη συσκευή να δημιουργήσει συνδέσεις που δεν προγραμματίζεται από το PSM και το eDRX. Αυτό μπορεί να γίνει με την ενεργοποίηση της συσκευής είτε μέσω της διεπαφής Tsmc είτε του Tsp. Κάθε μία από αυτές τις επιλογές έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Ο παραδοσιακός μηχανισμός μεταφοράς πληροφοριών LTE είναι μέσω IP over User Plane και SMS.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

Για υπηρεσίες που περιστασιακά μεταδίδουν αρκετά μικρές ποσότητες δεδομένων, η χρήση του Control Plane θα βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας, επειδή ο απαιτούμενος αριθμός σηματοδότησης και ο «χρόνος αέρα» μειώνεται. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να βελτιστοποιηθεί χρησιμοποιώντας non-IP, UDP και TCP. Το non-IP επιτρέπει τη χρήση πρωτοκόλλων που έχουν βελτιστοποιηθεί για συγκεκριμένη χρήση. Το UDP είναι ασύγχρονο, το οποίο μειώνει το χρόνο της σύνδεσης, ενώ το TCP θα διατηρήσει την σύνδεση ανοιχτή έως ότου ληφθεί μία επιβεβαίωση. Ωστόσο, η υποστήριξη δικτύου που προέρχεται από UDP σύνδεση ενδέχεται να απαιτεί τη χρήση είτε ενός εικονικού ιδιωτικού δικτύου (VPN) είτε του IPv6 λόγω της ανάγκης συγκεκριμένης διεύθυνσης της συσκευής από το δίκτυο διακομιστών.

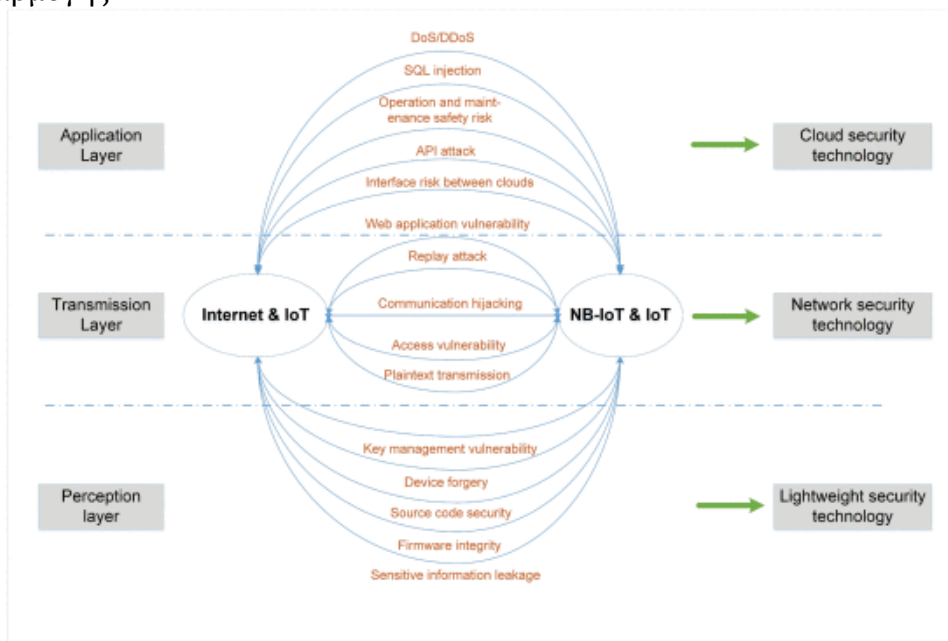
Οι υπηρεσίες που θα πρέπει να στείλουν περισσότερες πληροφορίες θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τη σύνδεση User Plane, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποστολή πολλαπλών πακέτων. Συνολικά, αυτή η προσέγγιση ενδέχεται να καταναλώνει λιγότερη ισχύ από την αποστολή πολλαπλών μηνυμάτων μέσω του Control Plane. Από την άλλη πλευρά, η χρήση του non-IP over User Plane μπορεί να είναι μη ρεαλιστική επειδή τα οφέλη από τη χρήση αποδοτικών πρωτοκόλλων ακυρώνονται με τη χρήση του User Plane.

Ακόμη, όσον αφορά την αρχιτεκτονική δικτύου του NB-IoT αξίζει να αναφέρουμε πως χωρίζεται σε 5 σημαντικά στοιχεία:

- NB-IoT terminal, ο οποίος υποστηρίζει την πρόσβαση των IoT συσκευών από ένα πλήθος υπηρεσιών, και τους επιτρέπει να έχουν πρόσβαση στο NB-IoT δίκτυο με την εγκατάσταση της σωστής SIM κάρτας.
- NB-IoT Access Network, όπως για παράδειγμα ο σταθμός βάσης ο οποίος κυρίως αναφέρεται στον LTE σταθμό βάσης και ο eNodeB (Evolved Node B), οι οποίοι έχουν ήδη δημιουργηθεί από τους χειριστές.
- Core Network, το οποίο επιτρέπει την σύνδεση μεταξύ του NB-IoT σταθμού βάσης και του NB-IoT cloud.
- NB-IoT Cloud Platform, όπου ένας μεγάλος αριθμός διαδικασιών μπορεί να ολοκληρωθεί και τα αποτελέσματα να σταλούν στο κάθετο κέντρο βιομηχανίας ή στους τερματικούς NB-IoT.
- Vertical Industry Center, το οποίο όχι μόνο αποκτά NB-IoT επιχειρηματικά δεδομένα αλλά επίσης ολοκληρώνει τον έλεγχο των τερματικών NB-IoT. (36)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΟΥ NB-IoT

Οι απαιτήσεις ασφαλείας του NB-IoT είναι παρόμοιες με αυτές του παραδοσιακού IoT. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές διαφορές οι οποίες σχετίζονται κυρίως με τον εξοπλισμό υλικού του IoT με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, τον τρόπο επικοινωνίας δικτύου και τις πραγματικές απαιτήσεις υπηρεσίας. Για παράδειγμα, το τερματικό σύστημα του παραδοσιακού IoT έχει γενικά ισχυρή υπολογιστική ισχύ, περίπλοκο πρωτόκολλο μετάδοσης δικτύου και υιοθετεί αυστηρότερο σχέδιο ενίσχυσης της ασφάλειας. Επιπροσθέτως, η κατανάλωση ισχύος είναι συνήθως υψηλή και απαιτείται συχνή φόρτιση. Από την άλλη πλευρά όμως, ένας εξοπλισμός IoT χαμηλής ισχύος χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλή υπολογιστική ισχύ και μη συχνή φόρτιση, πράγμα που σημαίνει επίσης ότι τα ζητήματα ασφαλείας είναι πιο πιθανό να αποτελέσουν απειλή για τους τερματικούς σταθμούς. Επιπλέον, μια απλή κατανάλωση κατανάλωση πόρων μπορεί να προκαλέσει την κατάσταση άρνηση υπηρεσίας. Στην πραγματική ανάπτυξη, ο αριθμός των τερματικών συσκευών IoT χαμηλής κατανάλωσης είναι πολύ μεγαλύτερος μεγαλύτερος από ότι στο παραδοσιακό IoT. Ως αποτέλεσμα, οποιαδήποτε ευαισθησία ασφάλειας μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερα ατυχήματα ασφαλείας επειδή το ενσωματωμένο σύστημα του τερματικού είναι πιο απλό και πιο ελαφρύ, επομένως είναι πολύ πιο εύκολο για την εισβολέα να αποκτήσει πλήρη πρόσβαση στο σύστημα. Η ακόλουθη ανάλυση παρουσιάζει τις απαιτήσεις ασφαλείας του NB-IoT που στοχεύουν στην αρχιτεκτονική των τριών επιπέδων που αποτελείται από το στρώμα αντίληψης, το στρώμα μετάδοσης και το στρώμα εφαρμογής.



Εικόνα 20: Σύγκριση ομοιότητας μεταξύ NB-IoT και παραδοσιακού IoT όσον αφορά τις απαιτήσεις ασφαλείας (24)

6.1 ΣΤΡΩΜΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ

Το επίπεδο αντίληψης είναι το κάτω στρώμα του NB-IoT που αντιπροσωπεύει το θεμέλιο των ανώτερων επιπέδων αρχιτεκτονικής και υπηρεσιών. Παρόμοιο με το κοινό επίπεδο αντίληψης IoT, το επίπεδο αντίληψης του NB-IoT τείνει να βρίσκεται υπό παθητικές και ενεργές επιθέσεις. Η παθητική επίθεση σημαίνει ότι ο εισβολέας κλέβει πληροφορίες μόνο, χωρίς όμως να κάνει οποιαδήποτε τροποποίηση. Οι κύριες μέθοδοι περιλαμβάνουν υποκλοπές, ανάλυση κυκλοφορίας και ούτω καθεξής. Δεδομένου ότι η μετάδοση του NB-IoT βασίζεται σε ανοιχτό ασύρματο δίκτυο, οι εισβολείς μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τους τερματικούς σταθμούς NB-IoT με μεθόδους όπως η κλοπή συνδέσμου δεδομένων και η ανάλυση χαρακτηριστικών κυκλοφορίας με σκοπό την διεξαγωγή μιας σειράς επακόλουθων επιθέσεων.

Διαφορετικές από τις παθητικές επιθέσεις, οι ενεργές επιθέσεις περιλαμβάνουν σοβαρή καταστροφή και παραποίηση των πληροφοριών. Επομένως, η καταστροφή που προκαλείται από την ενεργή επίθεση στο δίκτυο NB-IoT είναι πολύ μεγαλύτερη από την παθητική επίθεση. Προς το παρόν, οι κύριες ενεργές μέθοδοι επίθεσης περιλαμβάνουν επίθεση αναπαραγωγής κόμβων, επίθεση δέσμευσης κόμβων, επίθεση παραβίασης μηνυμάτων κ.λπ. Για παράδειγμα, σε τυπική εφαρμογή NB-IoT που αφορά έξυπνους μετρητές, εάν ο εισβολέας καταγράψει το τερματικό του NB-IoT του χρήστη, τότε ο εισβολέας μπορεί να τροποποιήσει αυθαίρετα και να παραποιήσει τις μετρήσεις που έχει καταγράψει ο συγκεκριμένος μετρητής, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τα συμφέροντα του χρήστη.

Στις επιθέσεις που αναφέραμε παραπάνω, οι κρυπτογραφικοί αλγόριθμοι, όπως η κρυπτογράφηση δεδομένων, η εξακρίβωση της ταυτότητας και η ακεραιότητα, μπορούν να υιοθετηθούν για την πρόληψη. Οι συχνά χρησιμοποιούμενοι μηχανισμοί κρυπτογραφίας περιλαμβάνουν τον τυχαίο μηχανισμό προ-κατανομής κλειδιών, τον προκαθορισμένο μηχανισμό κατανομής και τον μηχανισμό κωδικού πρόσβασης που βασίζεται στην ταυτότητα. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας στον εξοπλισμό NB-IoT μπορεί να φτάσει όπως ήδη έχουμε πει τα 10 έτη θεωρητικά. Δεδομένου ότι ο ρυθμός διεκπεραίωσης των δεδομένων σε κόμβους NB-IoT είναι μικρός, για λόγους ασφαλείας, ένας ελαφρύς κωδικό πρόσβασης όπως ο κρυπτογραφημένος κωδικός, θα πρέπει να αναπτυχθεί σε επίπεδο αντίληψης για να μειωθεί το φορτίο υπολογισμού στα τερματικά και να παραταθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Διαφορετικά από το στρώμα αντίληψης στο παραδοσιακό IoT, εδώ ο κόμβος του στρώματος αντίληψης μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με τον σταθμό βάσης στο κελί, και έτσι αποφεύγονται πιθανά προβλήματα ασφάλειας δρομολόγησης κατά την διάρκεια της δικτύωσης. Από την άλλη πλευρά, η ταυτοποίηση μεταξύ κόμβων στο επίπεδο αντίληψης του NB-IoT και του σταθμού βάσης στο κελί θα πρέπει να είναι αμφίδρομη, δηλαδή η επαλήθευση πρόσβασης θα πρέπει να διεξάγεται από το σταθμό βάσης στον συγκεκριμένο κόμβο αντίληψης του NB-IoT και θα πρέπει επίσης να διεξάγεται από τον κόμβο NB-IoT στον σταθμό βάσης στο τρέχον κελί, προκειμένου να αποφευχθεί η απειλή ασφαλείας που θα μπορούσε να επιφέρει ο ψευδο-σταθμός βάσης.

6.2 ΣΤΡΩΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Σε αντίθεση με το επίπεδο μετάδοσης στο παραδοσιακό IoT, το NB-IoT αλλάζει την περίπλοκη ανάπτυξη δικτύου όπου η πύλη ρελέ συλλέγει πληροφορίες και μετά τροφοδοτεί με την σειρά της το σταθμό βάσης. Επομένως, επιλύονται πολλά προβλήματα όπως η δικτύωση πολλαπλών δικτύων, το υψηλό κόστος και η μπαταρία υψηλής χωρητικότητας. Ένα δίκτυο για μία ολόκληρη πόλη μπορεί να προσφέρει ευκολία συντήρησης και διαχείρισης και πλεονεκτήματα όπως η εύκολη διευθέτηση και

εγκατάσταση μέσω διαχωρισμού από την υπηρεσία ιδιοκτησίας. Ωστόσο, υπάρχουν και νέες απειλές για την ασφάλεια:

- Πρόσβαση σε τερματικά υψηλής χωρητικότητας NB-IoT.

Ένας τομέας του NB-IoT είναι σε θέση να υποστηρίξει τη σύνδεση σε περίπου 100000 τερματικά. Η κύρια πρόκληση είναι η διεξαγωγή αποτελεσματικής ταυτοποίησης και ο έλεγχος πρόσβασης για αυτές τις μαζικές συνδέσεις υψηλής χωρητικότητας σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να αποφευχθεί η έγχυση ψευδών και λανθασμένων πληροφοριών από έναν κακόβουλο κόμβο.

- Ανοιχτό περιβάλλον δικτύου.

Η επικοινωνία μεταξύ της αντίληψης του NB-IoT και του επιπέδου μετάδοσης γίνεται εντελώς μέσω ενός ασύρματου καναλιού. Η ευαισθησία του ασύρματου δικτύου φέρνει πιθανούς κινδύνους για το σύστημα. Δηλαδή, ο εισβολέας θα μπορούσε να μεταδώσει ένα σήμα παρεμβολής για να προκαλέσει διακοπή επικοινωνίας. Επιπλέον, καθώς υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός κόμβων σε έναν τομέα, ο εισβολέας θα μπορούσε να υποστηρίξει την επίθεση Denial of Service με κόμβους που ελέγχει ο ίδιος. Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολο να επηρεάσει την απόδοση του δικτύου.

Η λύση των παραπάνω προβλημάτων είναι η εισαγωγή ενός αποτελεσματικού μηχανισμού ελέγχου ταυτότητας από άκρο σε άκρο και ο μηχανισμός συμφωνίας κλειδιού, έτσι ώστε να παρέχεται προστασία από την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα μετάδοσης δεδομένων καθώς και ο προσδιορισμός της νομιμότητας των πληροφοριών. Προς το παρόν, υπάρχουν σχετικά πρότυπα ασφάλειας μετάδοσης τόσο για το δίκτυο υπολογιστών όσο και για τις κινητές επικοινωνίες LTE όπως είναι το IPSEC, το SSL και το AKA. Ωστόσο, το κύριο πρόβλημα είναι η πραγματοποίηση αυτών των τεχνολογιών στο NB-IoT μέσω βελτιστοποίηση απόδοσης.

Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να δημιουργηθούν τέλειοι μηχανισμοί ανίχνευσης και προστασίας κατά της εισβολής, προκειμένου να ανιχνευθούν παράνομες πληροφορίες που εισάγονται από τους κακόβουλους κόμβους. Για να είμαστε συγκεκριμένοι, πρώτον, θα πρέπει να δημιουργηθεί και να διατηρηθεί μια σειρά με συγκεκριμένα προφίλ συμπεριφορών για συγκεκριμένους NB-IoT κόμβους. Θα πρέπει να περιγραφούν τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των αντίστοιχων κόμβων κατά την κανονική λειτουργία. Όταν η διαφορά μεταξύ της τρέχουσας δραστηριότητας ενός κόμβου NB-IoT και των δραστηριοτήτων του στο παρελθόν υπερβαίνει το όριο των στοιχείων στη διαμόρφωση προφίλ, αυτή η δραστηριότητα θα θεωρηθεί ως συμπεριφορά ανωμαλίας και το σύστημα θα πρέπει να πραγματοποιήσει έγκαιρη παρακολούθηση και διόρθωση για να αποφευχθεί η αρνητική επίδραση από διάφορες παρεμβολές και επιθέσεις στην απόδοση του δικτύου.

6.3 ΣΤΡΩΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ο στόχος του επιπέδου εφαρμογής του NB-IoT είναι η αποθήκευση, η ανάλυση και η διαχείριση των δεδομένων αποτελεσματικά. Μετά το επίπεδο αντίληψης και το επίπεδο μετάδοσης, μία μεγάλη ποσότητα δεδομένων συγκλίνει στο επίπεδο εφαρμογής. Στη συνέχεια, δημιουργούνται τεράστιοι πόροι για την παροχή υποστήριξης δεδομένων για διάφορες εφαρμογές. Σε σύγκριση με το επίπεδο εφαρμογής του παραδοσιακού δικτύου IoT, το επίπεδο εφαρμογής του NB-IoT μεταφέρει μεγαλύτερη ποσότητα δεδομένων. Οι κύριες απαιτήσεις ασφαλείας είναι οι εξής:

- Προσδιορισμός και επεξεργασία μαζικών ετερογενών δεδομένων.

Λόγω της ποικιλομορφίας των εφαρμογών NB-IoT τα δεδομένα που συγκλίνουν στην εφαρμογή είναι ετερογενή, γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα της επεξεργασίας δεδομένων. Επομένως, η αποτελεσματική ταυτοποίηση και διαχείριση αυτών των

δεδομένων με υπάρχοντες υπολογιστικούς πόρους γίνεται το βασικό πρόβλημα του επιπέδου εφαρμογής NB-IoT. Επιπλέον, η ανοχή σε καταστροφές σε πραγματικό χρόνο, η ανοχή σφαλμάτων και η δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας είναι επίσης ερωτήσεις που αξίζει να εξεταστούν. Η αποτελεσματική λειτουργία των υπηρεσιών NB-IoT πρέπει να διασφαλίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο σε διάφορες ακραίες περιπτώσεις.

- Ακεραιότητα και έλεγχος ταυτότητας δεδομένων.

Τα επίπεδα που συγκλίνουν στο επίπεδο εφαρμογής προέρχονται από τα επίπεδα αντίληψης και μετάδοσης. Η μόνη εξαίρεση συμβαίνει κατά τη συλλογή και τη μετάδοση, όπου η ακεραιότητα των δεδομένων σε διαφορετικούς βαθμούς βλάβης. Εκτός αυτού, μια παράνομη λειτουργία από εμπιστευτικά δεδομένα θα προκαλούσε επίσης απώλεια ακεραιότητας δεδομένων. Έτσι, μπορεί να επηρεαστεί η χρήση δεδομένων στο επίπεδο εφαρμογής. Η λύση αυτών των προβλημάτων ασφάλειας έγκειται στη δημιουργία αποτελεσματικών μηχανισμών επαλήθευσης και συγχρονισμού της ακεραιότητας των δεδομένων. Επιπλέον, η τεχνολογία από-αντιγραφής δεδομένων, η τεχνολογία αυτοκαταστροφής δεδομένων, η τεχνολογία ροής δεδομένων και άλλες τεχνολογίες είναι επίσης απαραίτητα για την εγγύηση της ασφάλειας των δεδομένων κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αποθήκευσης και μετάδοσης προς όλες τις κατευθύνσεις.

- Έλεγχος πρόσβασης στα δεδομένα

Υπάρχει ένα μεγάλο αριθμό ομάδων χρηστών στο NB-IoT. Οι αρχές πρόσβασης και λειτουργίας για διαφορετικούς χρήστες σε δεδομένα είναι διαφορετικές. Θα πρέπει να εγκατασταθούν οι αντίστοιχες αρχές για διαφορετικά επίπεδα χρηστών προκειμένου να κάνουν τους χρήστες να διεξάγουν ελεγχόμενη ανταλλαγή πληροφοριών. Επί του παρόντος, οι μηχανισμοί ελέγχου πρόσβασης για δεδομένα είναι κυρίως ο υποχρεωτικός μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης, ο διακριτικός μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης, ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης βάσει ρόλου και ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης βάσει χαρακτηριστικών. Θα πρέπει να λαμβάνονται διαφορετικά μέτρα ελέγχου πρόσβασης ανάλογα με τη διαφορά στο απόρρητο των σκηνών εφαρμογής. (24) (37)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ NB-IoT

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει μελετηθεί μέχρι στιγμής το θεωρητικό υπόβαθρο του NB-IoT, το οποίο καλύπτει ένα ευρύ φάσμα αναγκών. Για να μπορέσουμε να επιβεβαιώσουμε και σε πρακτικό επίπεδο όλα όσα έχουμε υποστηρίξει θεωρητικά, κρίνεται απαραίτητο να εξερευνήσουμε την συμπεριφορά του δικτύου αυτού. Όπως έχουμε αναφέρει η τεχνολογία αυτή είναι αρκετά πρόσφατη με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν διαθέσιμοι στην βιβλιογραφία ένα ευρύ φάσμα αξιόπιστων εξομοιωτών που να μας παρέχουν την δυνατότητα να αναλύσουμε και να διαχειριστούμε την τεχνολογία αυτή με καινοτόμους τρόπους. Για αυτό το λόγο, επιλέξαμε να υλοποιήσουμε την εξομοίωση του μοντέλου μας σε περιβάλλον *MATLAB* και συγκεκριμένα με την χρήση του *LTE TOOLBOX*.

Για την ανάπτυξη και την κατανόηση του συγκεκριμένου μηχανισμού, μελετήθηκαν σε μεγάλο βαθμό ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών εργασιών (38) (39) (40) σχετικά με το NB-IoT downlink/uplink αλλά και το NB-IoT NPUSCH Block Error Rate.

7.2 NB-IoT DOWNLINK

Όπως έχουμε αναφέρει το 3GPP έχει εισάγει ένα καινούριο interface, το NB-IoT, το οποίο είναι βελτιστοποιημένο για επικοινωνίες χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Ο λόγος που παρέχεται χαμηλό κόστος αλλά και βελτιώσεις στην κατανάλωση ενεργείας είναι γιατί αποφεύγει την περίπλοκη σηματοδότηση που απαιτείται για τα LTE συστήματα. Χρησιμοποιήσαμε το LTE Toolbox για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε κυματομορφές downlink αντιπροσωπεύοντας το φορτίο των 180kHz που είναι κατάλληλο για εφαρμογές δοκιμής και μέτρησης. Η κυματομορφή αποτελείται από τα μεμονωμένα κανάλια φυσικού επιπέδου και τα αντίστοιχα σήματα. Χρησιμοποιήσαμε την *NB-IoT Downlink Waveform Generator* προκειμένου να παράγουμε ένα πλέγμα στοιχείου πόρων(RE) σε συνάρτηση με το χρόνο. Αξίζει να προσθέσουμε πως το συγκεκριμένο εργαλείο υποστηρίζει όλους τους τρόπους λειτουργίας του NB-IoT, οι οποίοι είναι οι *standalone*, *guardband* και *in-band*.

- *Standalone*: Αναπτύσσεται εκτός του φάσματος του LTE. Για παράδειγμα αυτό μπορεί να συμβεί στις επικοινωνίες δορυφόρων ή GSM.
- *Guardband*: Αναπτύσσεται μεταξύ δύο φορέων LTE.
- *In-band*: Αναπτύσσεται σε ένα μπλοκ πόρων ενός φορέα LTE.

Όσον αφορά τον *in-band* τρόπο μπορεί περαιτέρω να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με την φυσική ταυτότητα κυττάρων(PCI) που χρησιμοποιείται σε *Inband-SamePCI* και *Inband-DifferentPCI*. Αν έχουμε *Inband-SamePCI*, το PCI και η φυσική ταυτότητα κελιού στρώματος είναι ίδια και ο UE μπορεί να κάνει υποθέσεις σχετικά με τις θύρες και το κανάλι από τα LTE σήματα. Ο τρόπος λειτουργίας του αναφέρεται στο κύριο μπλοκ NB-IoT πληροφοριών (MIB-IoT), το οποίο παρέχει βασικές πληροφορίες για τον εξοπλισμό του χρήστη.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

Στην συγκεκριμένη ενότητα προκειμένου να καταφέρουμε να δημιουργήσουμε το NB-IoT downlink, χρησιμοποιήσαμε τα παρακάτω φυσικά κανάλια και σήματα, τα οποία είναι:

- Narrowband primary synchronization signal (NPSS)
- Narrowband secondary synchronization signal (NSSS)
- Narrowband reference signal (NRS)
- Narrowband physical broadcast channel (NPBCH)
- Narrowband physical downlink shared channel (NPDSCH)
- Narrowband physical downlink control channel (NPDCCH)

Επίσης το NB-IoT υποστηρίζει δύο διαμορφώσεις φορέα:

- Anchor: Ο φορέας χρησιμοποιείται από τον UE για την αρχική επιλογή των NB-IoT κυττάρων, αποκτώντας έτσι master μπλοκ πληροφοριών και συστήματος και αποκτά τυχαία πρόσβαση σε κατάσταση αναμονής. Τα NPSS, NSSS, NPBCH αλλά και οι πληροφορίες του συστήματος μεταδίδονται στον φορέα
- Non-anchor: Μόνο ένας φορέας χρησιμοποιείται για την πραγματική ανταλλαγή δεδομένων στην συνδεδεμένη λειτουργία. Οι πληροφορίες NPSS, NSSS, NPBCH και συστήματος δεν μεταδίδονται στον φορέα.

Εμείς, στην δική μας περίπτωση, παρουσιάζουμε το NB-IoT downlink RE και δημιουργούμε την κυματομορφή του. Θα εξηγήσουμε εκτενώς τα φυσικά σήματα και τα κανάλια που σχηματίζουν το πλέγμα και θα αναλύσουμε βασικές έννοιες όπως η επανάληψη υποπλαισίου, λογικές αντιστοιχίσεις καναλιών μεταφοράς καθώς και τα αντίστοιχα πλέγματα για τις διάφορες διαμορφώσεις. Επιπλέον, οι παράμετροι που εμπλέκονται στην δημιουργία της κυματομορφής, δίνονται ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

7.2.1 NB-IoT DOWNLINK ΠΛΕΓΜΑ

Εμείς, στην περίπτωση μας εξάγουμε την περίπλοκη κυματομορφή βασικής ζώνης μαζί με το πλέγμα που περιέχει όλα τα φυσικά κανάλια και σήματα που αναφέραμε και επίσης πληροφορίες σχετικά με τον τύπο δεδομένων που περιέχονται σε κάθε υποπλαίσιο.

Στην συνέχεια, τα πλέγματα που δημιουργούμε παρακάτω εξηγούν πως γίνεται η κατανομή του RE σε ένα υποπλαίσιο. Το πλέγμα είναι για δύο πλαίσια ενός anchor φορτίου που περιέχει NPSS, NSSS, NRS, NPBCH, SIB1-NB και NB-IoT downlink υποπλαίσια που φέρουν τα NPDSCH και NPDCCH. Τα πλέγματα που δημιουργήσαμε είναι για τους Inband-SamePCI και Standalone τρόπους λειτουργίας. Για να το δημιουργήσουμε χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο `grid` στην κλάση `NBLoTDownlinkWaveformGenerator`. Αυτό σημαίνει πως δημιουργήσαμε ένα αντικείμενο `ngen` τύπου `NBLoTDownlinkWaveformGenerator` και καλέσαμε το `ngen.displayResourceGrid`.

Συγκεκριμένα:

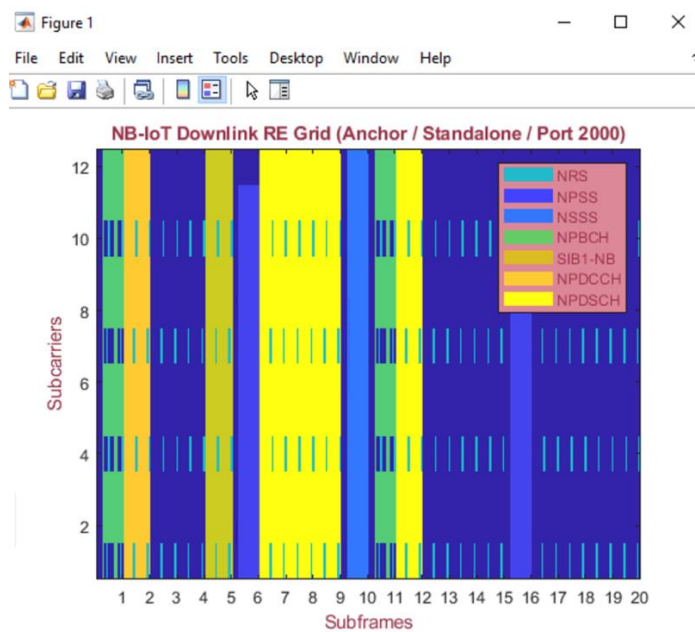
- NRS: Οι θέσεις του RE μπορούν να διαμορφωθούν από τον αριθμό των θυρών του NRS καθώς και από την ταυτότητα του φυσικού κελιού του narrowband.
- NPSS & NSSS: Τα πρώτα 11 υποφορτία χρησιμοποιούνται για το NPSS και όλα τα 12 υποφορτία σε ένα φυσικό resource block χρησιμοποιούνται για το NSSS. Τα πρώτα 3 σύμβολα OFDM σε ένα υποπλαίσιο δεν χρησιμοποιούνται για

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

NPSS/NSSS. Το NRS δεν μεταδίδεται σε κανένα υποπλάσιο που περιέχει NPSS/NSSS.

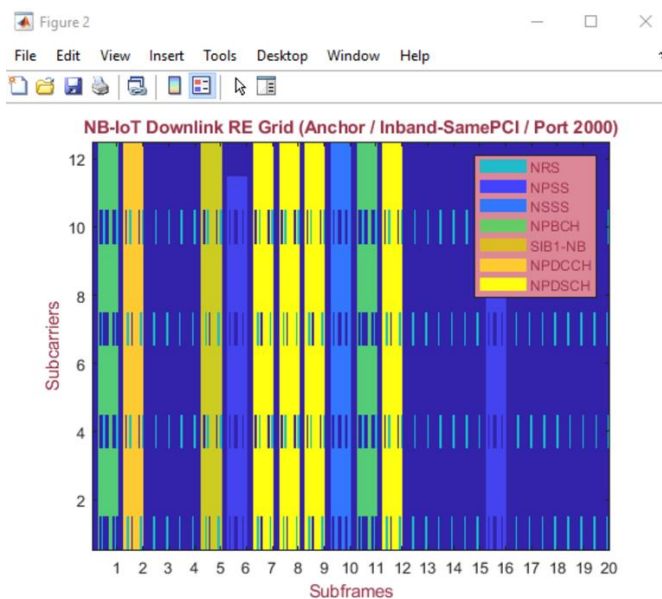
- NPBCH: Τα RE διατρέχονται από το NRS ενώ το cell-specific reference signal (CRS) χρησιμοποιεί το μέγιστο αριθμό κεραιών των θυρών NRS και CRS(2 και 4 αντίστοιχα). Αυτό συμβαίνει και για τους δύο τρόπους λειτουργίας. Αξίζει να σημειώσουμε πως αυτό συμβαίνει επειδή ο UE δεν έχει γνώση σχετικά με τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων θυρών κεραιάς αλλά και για τον τρόπο λειτουργίας.
- NPDSCH: Όσον αφορά τους τρόπους λειτουργίας Standalone και Guardband, τα RE διατρέχονται μόνο από το NRS. Όταν όμως αναφερόμαστε σε in-band λειτουργία, τότε τα RE διατρέχονται τόσο από NRS όσο και από CRS. Όταν ο τρόπος λειτουργίας είναι in-band, τα 3 πρώτα OFDM σύμβολα στο υποπλάσιο δεν χρησιμοποιούνται για NPDSCH που φέρει SIB1-NB.
- NPDCCH: Ο τρόπος που διατρέχουν τα NRS και τα CRS τα RE είναι ο ίδιος που περιγράψαμε και από πάνω στο NPDSCH.

Παρακάτω βλέπουμε ακριβώς αυτό που περιγράψαμε παραπάνω όταν το πλέγμα αφορά διαμορφώσεις φορέα σε anchor, ο τρόπος λειτουργίας είναι standalone και η θύρα είναι 2000 και αντίστοιχα για Inband-SamePCI.



Εικόνα 21: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Standalone/Port 2000)

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 22: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Inband-SamePCI/Port 2000)

7.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ NPDCCH/NPDSCH ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Στην συνέχεια αυτής της υποενότητας δημιουργήσαμε ένα RE πλέγμα χρησιμοποιώντας τα υποπλαίσια του NB-IoT downlink σε συνδυασμό με τον downlink bit map. Θα εξηγήσουμε πως διαμορφώσαμε τις παραμέτρους των NPDCCH/NPDSCH που μεταφέρονται από τα υποπλαίσια του downlink NB-IoT. Εμείς χρησιμοποιήσαμε στο παράδειγμα μας έναν non-anchor μεταφορέα προκειμένου να απενεργοποιήσουμε τα NPSS, NSSS, NPBCH και SIB1-NB στο πλέγμα.

Η κυματομορφή υποστηρίζει πολλαπλά NPDCCH καθώς και NPDSCH. Κάθε NPDSCH και NPDCCH περιέχει ένα μεμονωμένο μήνυμα μεταφοράς και ελέγχου πληροφοριών ζεύξης. Εμείς, στην υλοποίηση μας δώσαμε τις ακόλουθες παραμέτρους:

Στο 1^ο NPDCCH:

Πίνακας 1: Παράμετροι για το 1ο NPDCCH

Enable	'On'
Power	0
NCCE	1
NRep	2
Rmax	16
RNTI	0
StartSubframe	0
DataBlkSize	23
DataSource	randi([0 1], npdcch1.DataBlkSize,1)

Στο 2^ο NPDCCH:

Πίνακας 2: Παράμετροι για το 2ο NPDCCH

Enable	'On'
Power	0

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

NCCE	0
NRep	4
Rmax	16
RNTI	1
StartSubframe	3
DataBlkSize	23
DataSource	'PN9'

Στο 3^ο NPDCCH:

Πίνακας 3: Παράμετροι για το 3ο NPDCCH

Enable	'On'
Power	0
NCCE	1
NRep	8
Rmax	16
RNTI	1
StartSubframe	3
DataBlkSize	23
DataSource	'PN11'

Στο 1^ο NPDSCH:

Πίνακας 4: Παράμετροι για το 1ο NPDSCH

Enable	'On'
Power	0
NPDSCHDataType	'BCCHNotSIB1NB'
NSF	3
NRep	2
Rmax	npdcch1.Rmax
RNTI	0
StartSubframe	10
DataBlkSize	616
DataSource	'PN11'

Στο 2^ο NPDSCH:

Πίνακας 5: Παράμετροι στο 2ο NPDSCH

Enable	'On'
Power	0
NPDSCHDataType	'NotBCCH'
NSF	2
NRep	4
Rmax	npdcch2.Rmax
RNTI	1
StartSubframe	20
DataBlkSize	616

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

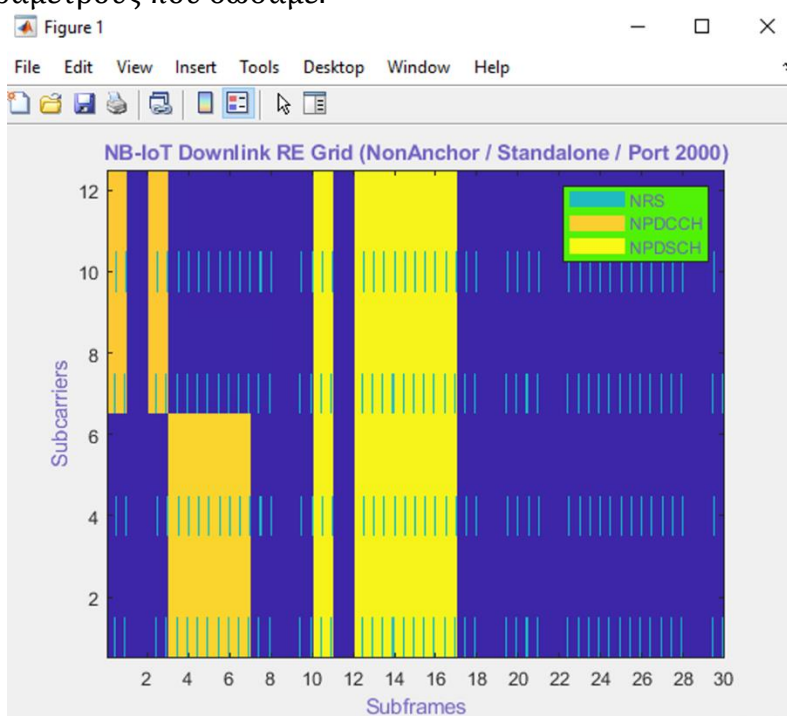
DataSource	'PN15'
------------	--------

Στο 3^ο NPDSCH:

Πίνακας 6: Παράμετροι για το 3^ο NPDSCH

Enable	'On'
Power	0
NPDSCHDataType	'BCCHNotSIB1NB'
NSF	2
NRep	8
Rmax	npdcch3.Rmax
RNTI	1
StartSubframe	30
DataBlkSize	616
DataSource	'PN23'

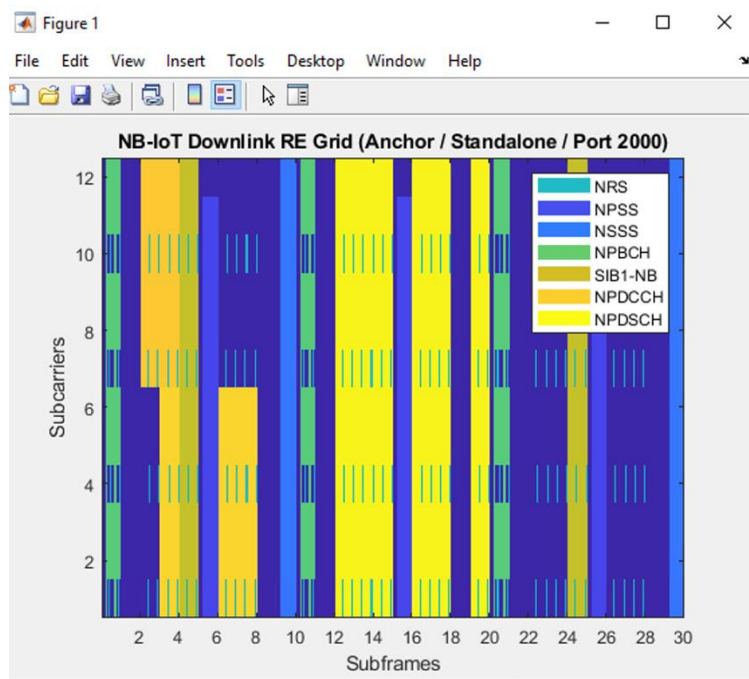
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας με τις παραπάνω παραμέτρους που δώσαμε:



Εικόνα 23: NB-IoT Downlink RE Grid(NonAnchor/Standalone/Port 2000)

Στην συνέχεια του πειράματος μας, δίνουμε στον εξομοιωτή μας τις ίδιες παραμέτρους, με την διαφορά τώρα όμως πως αντί για λειτουργία non-Anchor, θέτουμε την λειτουργία Anchor. Τα αποτελέσματα του πειράματος μας φαίνονται στην παρακάτω εικόνα και παρατηρούμε πως στην συγκεκριμένη περίπτωση ενεργοποιούνται και τα σήματα και τα φυσικά κανάλια NRS, NPSS, NSSS, NPBCH, SIB1-NB, NPDCCH και NPDSCH:

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 24: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/ Standalone/ Port 2000)

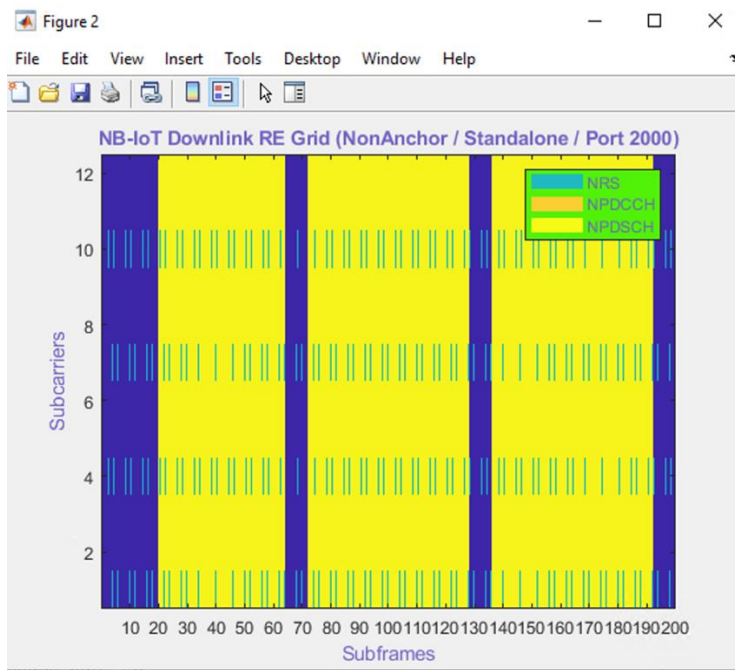
Έπειτα, το παρακάτω πλέγμα RE που δημιουργήσαμε εξηγεί πως μπορούμε να διαμορφώσουμε το κενό μετάδοσης για NPDSCH/NPDCCH. Το κενό καθορίζεται από το πεδίο παραμέτρου Rmax που αναφέραμε παραπάνω καθώς και από τις ακόλουθες παραμέτρους:

Πίνακας 7: Παράμετροι για το κενό μετάδοσης NPDSCH/NPDCCH

CarrierType	'NonAnchor'
TotSubframes	200
Enable	'Off'
StartSubframe	20
Rmax	ngen.Config.DLGapThreshold
NRep	64
NSF	3

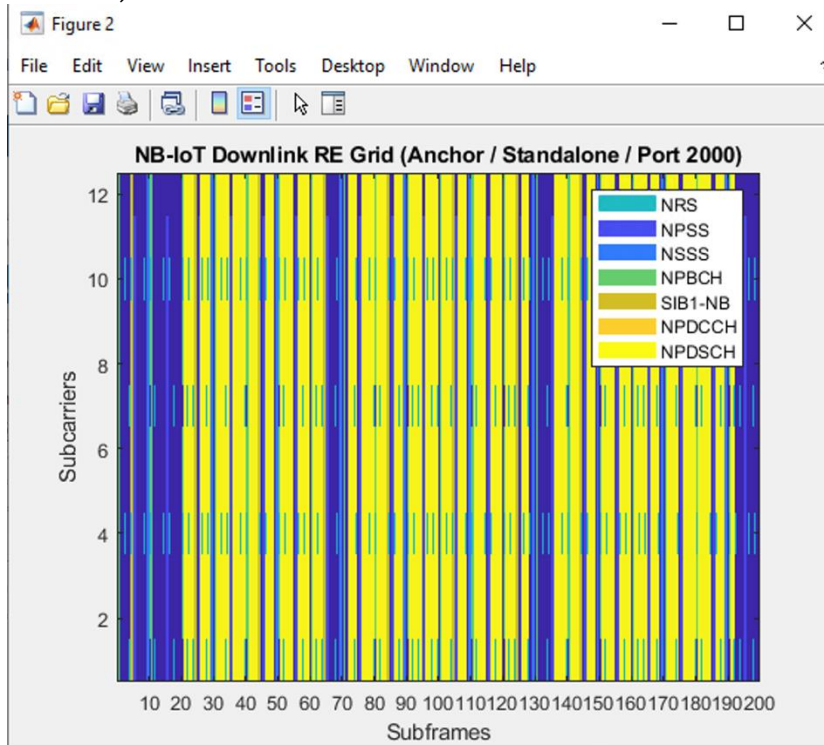
Αξίζει να αναφέρουμε πως στην ngen.Config.DLGapThreshold έχουμε δώσει την default παράμετρο 32. Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει πως τα 192(NRep X NSF) υποπλάγια διακόπτονται από τρία κενά με διάρκεια 8 υποπλαισίων, και τα κενά διαστήματα ξεκινούν στο υποπλαίσιο 20, 64 και 128 αντίστοιχα.

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 25: NB-IoT Downlink RE Grid(NonAnchor/Standalone/Port 2000) με 200 υποπλάισια

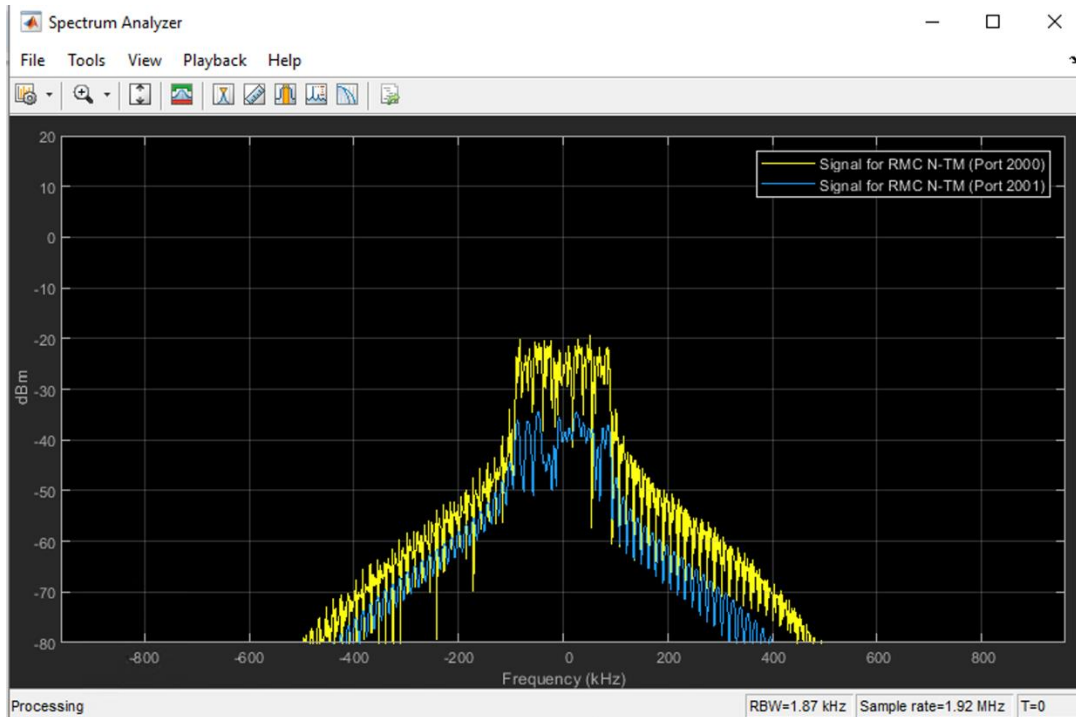
Και σε αυτή την περίπτωση, τρέχουμε το πρόγραμμα μας και θέτοντας σε λειτουργία Anchor με τις υπόλοιπες παραμέτρους να μένουν ίδιες. Και σε αυτή την περίπτωση από τα 200 συνολικά υποπλάισια, τα 192 υποπλάισια διακόπτονται από τα 3 κενά με διάρκεια 8 υποπλαισίων, τα οποία κενά ξεκινούν στα υποπλάισια 20, 64 και 128 αντίστοιχα. Και σε αυτή την περίπτωση, όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε και στα αποτελέσματα της παρακάτω εικόνας που προέκυψαν από την προσομοίωση μας, η διαφορά είναι πως ενεργοποιούνται και τα σήματα και τα φυσικά κανάλια NRS, NPSS, NSSS, NPBCH, SIB1-NB, NPDCCH και NPDSCH:



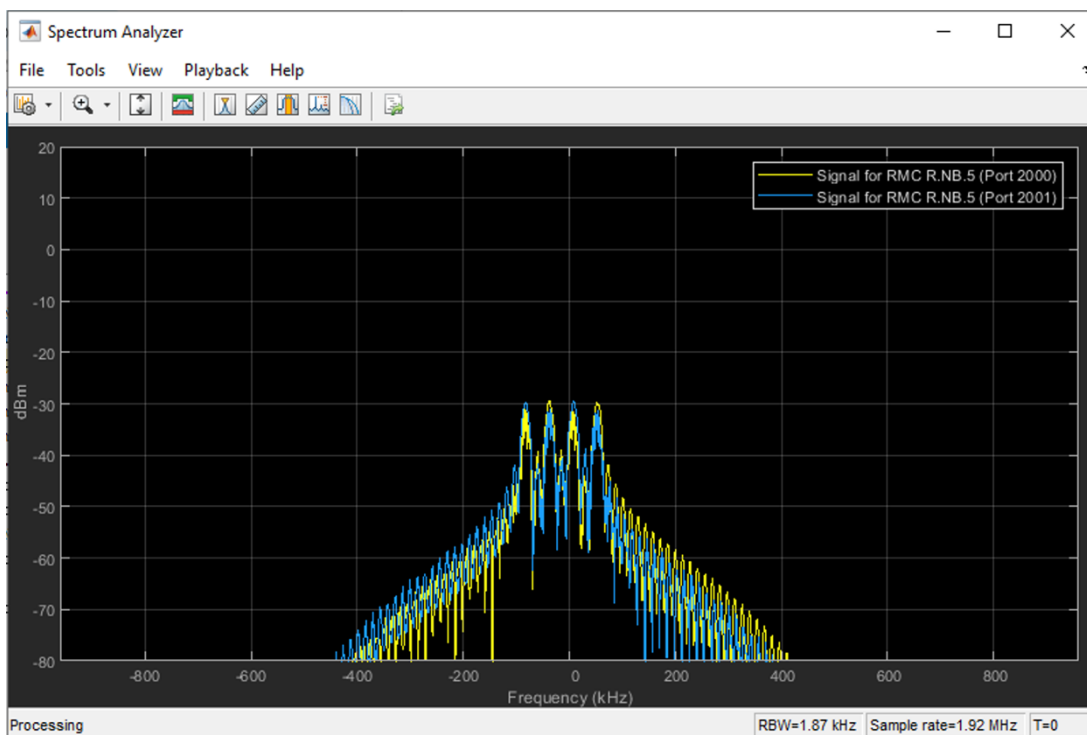
Εικόνα 26: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Standalone/Port 2000)

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

Κατόπιν, δημιουργήσαμε την κυματομορφή χρόνου-τομέα ενός καναλιού μέτρησης αναφοράς (RMC) για απαιτήσεις απόδοσης NPDSCH. Οι τιμές που επιτρέπονται είναι οι R.NB.5, R.NB.5-1, R.NB.6, R.NB.6, R.NB.6-1, R.NB.7 και N-TM. Εμείς στην προσομοίωση μας παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για τις δύο ακριανές τιμές R.NB.5 και N-TM. Με κίτρινο χρώμα στον αναλυτή φάσματος είναι η κυματομορφή για την πόρτα 2000 ενώ με μπλε χρώμα φαίνεται η κυματομορφή για την πόρτα 2001. Συγκριμένα έχουμε:



Εικόνα 27: Αναλυτής φάσματος για N-TM



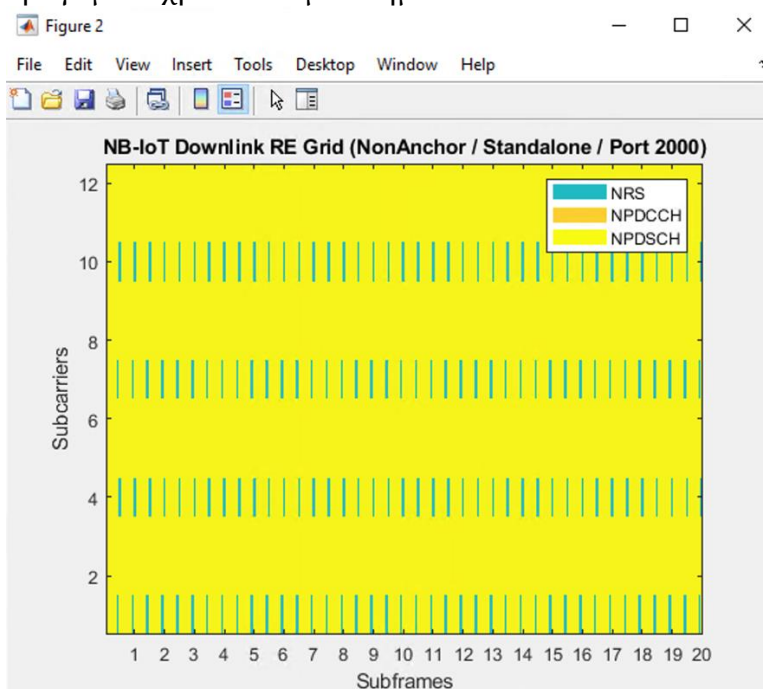
Εικόνα 28: Αναλυτής φάσματος για R.NB.5

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

Εμείς στο πείραμα μας επιλέξαμε να πάρουμε τις δύο ακριανές τιμές, δηλαδή τις N-TM και R.NB.5. Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά τις παραπάνω δύο εικόνες μπορούμε να διαπιστώσουμε πως πρώτον όσον αφορά την δεύτερη προσομοίωση για την τιμή R.NB.5 οι κυματομορφές σχεδόν συμπίπτουν και η μέγιστη τιμή των dBm φτάνει τα -30, η οποία είναι μεγαλύτερη σε σχέση με της πρώτης η οποία φτάνει την τιμή των -20 και δεύτερον οι κυματομορφές του αναλυτή φάσματος της τιμής N-TM, δεν συμπίπτουν και έχουν μεγάλες διαφορές για τις θύρες 2000 και 2001. Η μπλε κυματομορφή της θύρας 2001 φτάνει σε χαμηλότερες τιμές της τάξης των περίπου -40 σε σχέση με την κίτρινη κυματομορφή της 2000 θύρας που φτάνει της τάξης περίπου -20. Όσο μεγαλώνουν οι τιμές επομένως, τόσο οι οι κυματομορφές των θυρών παύουν να συμπιτούν και να μεγαλώνουν οι διαφορές τους. Αυτό που αξίζει να σημειώσουμε όμως πως οι συχνότητες παραμένουν σταθερές και αυτό που αλλάζει κάθε φορά είναι οι τιμές των dBm.

7.2.3 NB-IoT DOWNLINK WAVEFORM ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

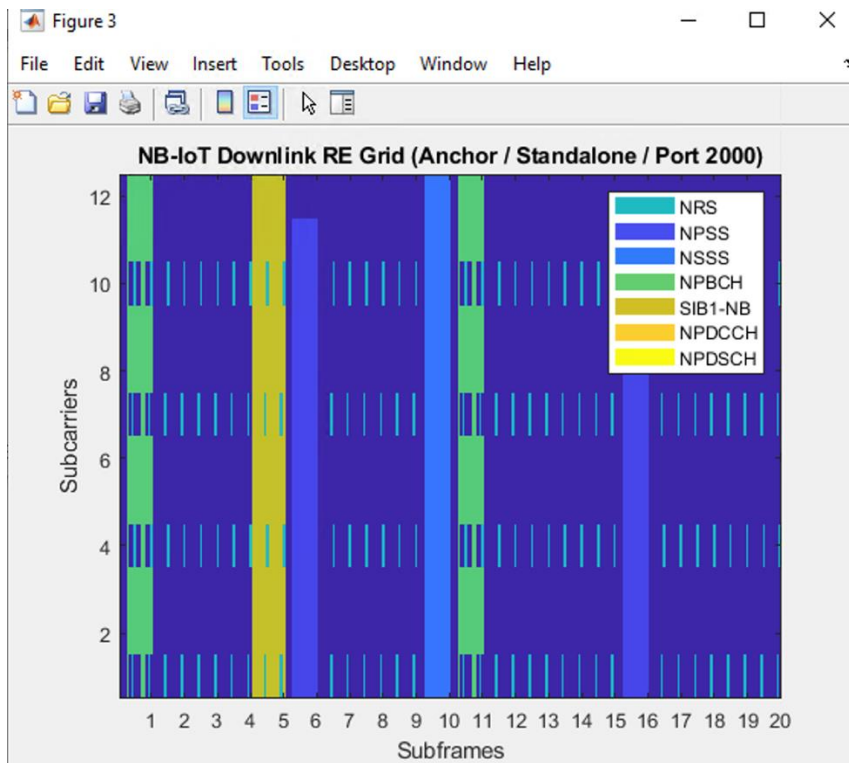
Στην συνέχεια αυτής της υποενότητας, συγκρίνουμε τα φάσματα σήματος για την παραγόμενη κυματομορφή τομέα-χρόνου. Όπως μπορούμε να δούμε και στον αναλυτή φάσματος, το σήμα που έχει κίτρινο χρώμα έχει ισχυρότερη ισχύ από αυτό με το μπλέ χρώμα. Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσοστό χρήσης RE του κίτρινου σήματος είναι υψηλότερο. Συγκεκριμένα, για να το πετύχουμε αυτό, θέσαμε Standalone λειτουργία, non-anchor φορτίο, απενεργοποιήσαμε το σήμα NPDCCH και κάναμε το πλέγμα RE πλήρως απασχολημένο από τα NPDSCH/NRS προκειμένου να δημιουργήσουμε το πλέγμα και το παραγόμενο χρόνο-τομέα σήμα.



Εικόνα 29: NB-IoT Downlink RE Grid(NonAnchor/ Standalone/ Port 2000)

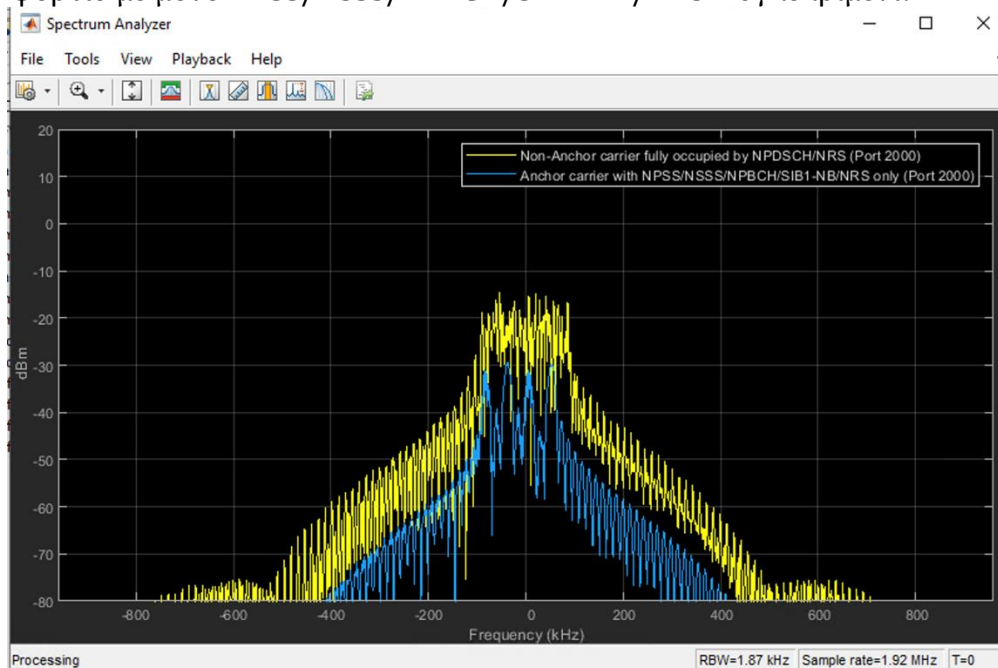
Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

Στη συνέχεια, θέσαμε Standalone λειτουργία, anchor φορτίο και απενεργοποιήσαμε το NPDSCH και το NPDCCH προκειμένου να περιέχεται μόνο NPSS/NSSS/NPBCH/SIB1-NB/NRS. Τα αποτελέσματα που πήραμε φαίνονται στην παρακάτω κυματομορφή:



Εικόνα 30: NB-IoT Downlink RE Grid(Anchor/Standalone/Port 2000)

Τέλος, στο τελικό μας συμπέρασμα παρουσιάζουμε τις δύο τελικές μας κυματομορφές στον αναλυτή φάσματος. Με κίτρινο χρώμα, η κυματομορφή η οποία είναι και υψηλότερη δίνει Non-Anchor φορτίο το οποίο είναι πλήρως απασχολημένο από τα NPDSCH/NRS. Με μπλε χρώμα και με χαμηλότερη κυματομορφή παρουσιάζεται το Anchor φορτίο με μόνο NPSS/NSSS/NPBCH/SIB1-NB/NRS. Συγκεκριμένα:



Εικόνα 31: Αναλυτής φάσματος

7.3 NB-IoT UPLINK

Στην συγκεκριμένη ενότητα δείχνουμε πως μπορούμε να κατασκευάσουμε LTE-Advanced Pro Release 13 Narrowband IoT uplink κυματομορφές, οι οποίες αποτελούνται από το Narrowband Physical Uplink Shared Channel (NPUSCH) καθώς και από τα αντίστοιχα σήματα αποδιαμόρφωσης για εφαρμογές δοκιμής και μέτρησης χρησιμοποιώντας το LTE Toolbox. Και το uplink υποστηρίζει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Standalone: Αναπτύσσεται εκτός του LTE φάσματος, όπως για παράδειγμα για GSM επικοινωνίες ή δορυφόρου.
- Guardband: Αναπτύσσεται μεταξύ δύο φορέων LTE.
- Inband: Αναπτύσσεται σε μπλοκ πόρων ενός LTE φορέα.

Το uplink NB-IoT αποτελείται από τα ακόλουθα φυσικά κανάλια και σήματα:

- Narrowband demodulation reference signal (DM-RS)
- Narrowband physical uplink shared channel (NPUSCH)
- Narrowband physical random access channel (NPRACH).

Εμείς θα δείξουμε πως μπορούμε να φτιάξουμε RE πλέγμα και κυματομορφή NB-IoT που αποτελούνται από τα σήματα NPUSCH και DM-RS. Αυτά τα σήματα και κανάλια σχηματίζουν το πλέγμα και εξηγούμε βασικές έννοιες, όπως η επανάληψη υποπλαισίου, λογικές αντιστοιχίσεις καναλιών μεταφοράς και τα αντίστοιχα πλέγματα για τις διάφορες διαμορφώσεις.

Επίσης, εξάγουμε την περίπλοκη κυματομορφής βασικής ζώνης μαζί με το πλήρες πλέγμα που περιέχει τα σήματα NPUSCH και DM-RS. Η κυματομορφή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μία σειρά εφαρμογών, από δοκιμή RF έως προσομοίωση υλοποιήσεων δέκτη.

7.3.1 NPUSCH ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Σε αυτή την ενότητα ορίζουμε και παρουσιάζουμε τις παραμέτρους που απαιτούνται για συχνότητα 3.75kHz και 15kHz αντίστοιχα, προκειμένου να δημιουργήσουμε το NPUSCH. Ο UE χρησιμοποιεί τον συνδυασμό του Modulation and Coding Scheme (MCS) καθώς και την εκχώρηση πόρων που σηματοδοτούνται μέσω του DCI για τον προσδιορισμό του μεγέθους του μπλοκ μεταφοράς. Η διάρκεια της κυματομορφής ελέγχεται μέσω της παραμέτρου totNumBlks.

Συγκεκριμένα, ορίσαμε για 3.75kHz:

Πίνακας 8: Πίνακας παραμέτρων NPUSCH για 3.75kHz

tbs	200
totNumBlks	2
NBULSybcarrierSpacing	'3.75kHz'
NNCellID	0
NPUSCHFormat	'Data'
NBULSubcarrierSet	47
CyclicShift	0
RNTI	0
NLayers	2
NRU	4
NRep	16

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

SlotIdx	0
Modulation	QPSK
NPUSCHPower	30
NPUSCHDRPower	34

Έπειτα, ορίσαμε τις εξής παραμέτρους για 15kHz:

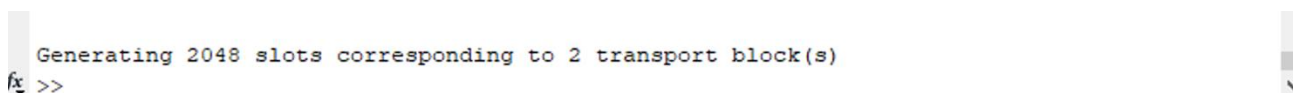
Πίνακας 9: Πίνακας παραμέτρων NPUSCH για 15kHz

tbs	200
totNumBlks	3
NBULSybcarrierSpacing	'15kHz'
NNCellID	0
NPUSCHFormat	'Data'
NBULSubcarrierSet	5
CyclicShift	0
RNTI	0
NLayers	2
NRU	4
NRep	16
SlotIdx	0
Modulation	QPSK
NPUSCHPower	30
NPUSCHDRPower	34

7.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ NB-IoT UPLINK WAVEFORM ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Στην συνέχεια αυτής της υποενότητας, δημιουργήσαμε το πλέγμα πόρων του NPUSCH δίνοντας τα αντίστοιχα σήματα αποδιαμόρφωσης. Αυτό το πλέγμα στη συνέχεια διαμορφώνεται σε SC-FDMA για να δημιουργήσει την κυματομορφή τομέα-χρόνου. Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους για 3.75kHz και 15kHz αντίστοιχα, που θέσαμε πήραμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα με την χρήση της Matlab:

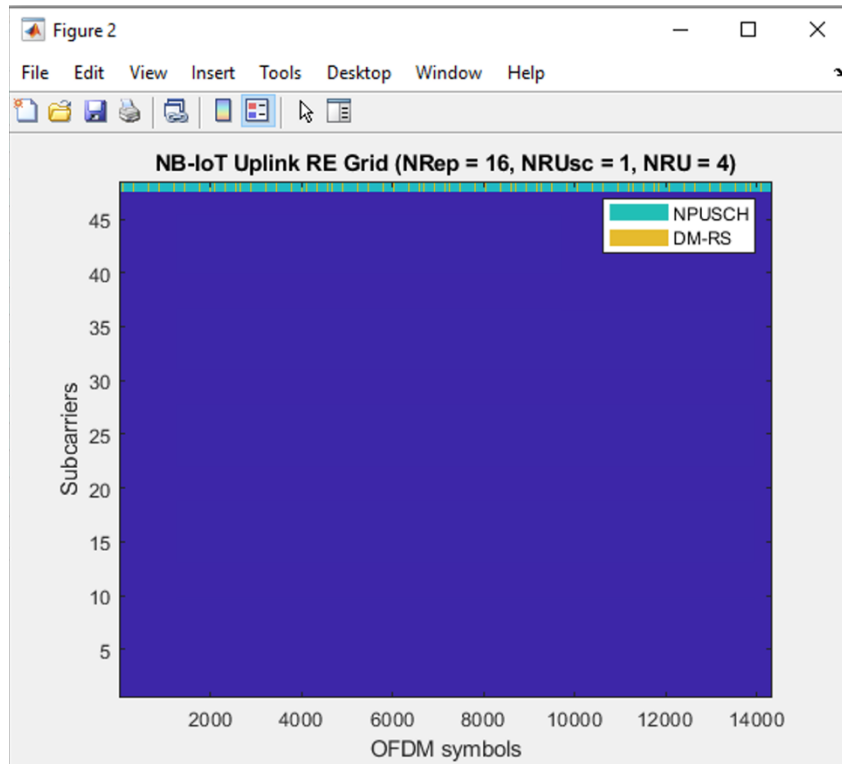
➤ Για 3.75kHz τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας είναι:



Εικόνα 32: Δημιουργία slots σε μπλοκ για 3.75kHz

Επομένως, για NRep=16, NRUSc=1 και NRU=4 έχουμε:

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 33: NB-IoT Uplink RE Grid για 3.75kHz

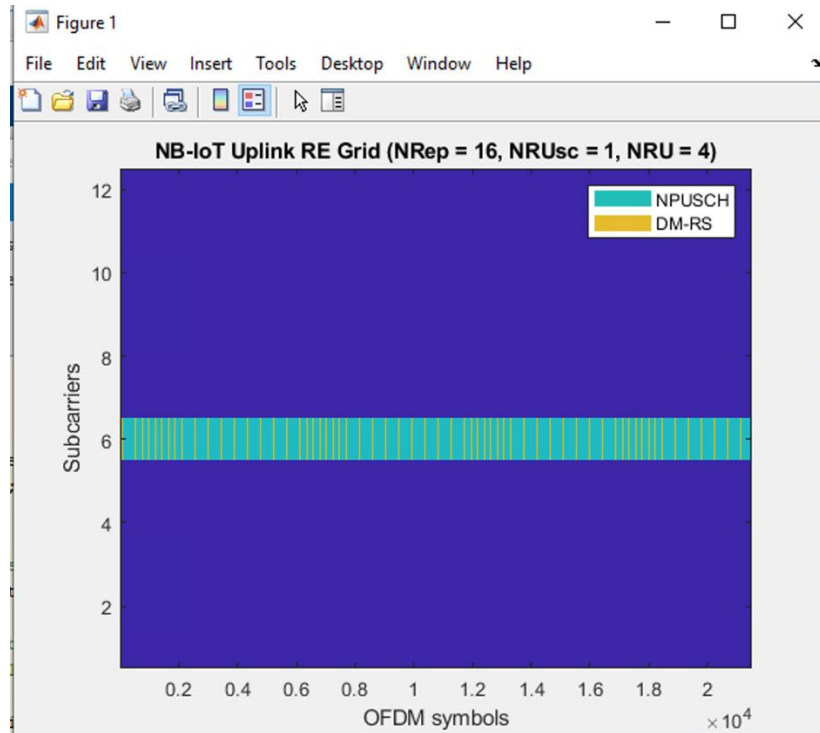
- Έπειτα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας για 15kHz δίνοντας τις παραμέτρους που ορίσαμε στην ενότητα 7.3.1:

```
Generating 3072 slots corresponding to 3 transport block(s)  
fx >>
```

Εικόνα 34: Δημιουργία slots σε μπλοκ για 15kHz

Επομένως, για $NRep=16$, $NRUsc=1$ και $NRU=4$ έχουμε:

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.



Εικόνα 35: NB-IoT Uplink RE Grid για 15kHz

7.4 NB-IoT NPUSCH BLOCK ERROR RATE SIMULATION

Σε αυτή την ενότητα θα δείξουμε πως μπορούμε να δημιουργήσουμε μία προσομοίωση NB-IoT Narrowband Physical Uplink Shared Channel (NPUSCH) Block Error Rate (BLER) σε επιλεκτική συχνότητα εξασθένισης και πρόσθετου White Gaussian Noise (AWGN) χρησιμοποιώντας το LTE Toolbox.

Δημιουργούμε μία καμπύλη NB-IoT NPUSCH BLER για ένα συγκεκριμένο αριθμό σημείων SNR και παραμέτρων μετάδοσης. Το σήμα αναφοράς αποδιαμόρφωσης NPUSCH και στενής ζώνης (DRS) μεταδίδονται σε όλες τις υποδοχές. Λειτουργώντας με βάση κάθε υποδοχή για σημείο Single-to-Noise Ratio (SNR), ο υπολογισμός BLER περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Δημιουργούμε ένα πλέγμα πόρων RE και το γεμίζουμε με NPUSCH σύμβολα.
2. Δημιουργούμε την κυματομορφή βασικής ζώνης με SC-FDMA προκειμένου να διαμορφώσουμε το πλέγμα.
3. Περνάμε την κυματομορφή μέσω ενός θορύβου καναλιού εξασθένισης.
4. Εκτελούμε λειτουργίες δέκτη (αποδιαμόρφωση SC-FDMA, εκτίμηση καναλιών και εξίωση)
5. Αποκτούμε το μπλοκ CRC αποκωδικοποιώντας τα εξισώμενα σύμβολα.
6. Προσδιορίζουμε την απόδοση του NPUSCH χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα CRC μπλοκ στην έξοδο του αποκωδικοποιητή καναλιού.

Αξίζει να αναφέρουμε πως η τιμή του δείκτη BLER εκφράζει το ποσοστό των εσφαλμένων παραμορφώσεων, σε συνδυασμό με το SNR, το οποίο είναι κ ο λόγος θορύβου για τη μετάδοση μέσω καναλιού. Για να κάνουμε την προσομοίωση ακολουθήσαμε την διαδικασία που ορίζεται από το LTE δίκτυο. Έτσι, προκειμένου να υπολογίσουμε το BLER χρησιμοποιήσαμε την παρακάτω φόρμουλα:

$$BLER = \frac{\#errorBlocks}{\#blocksTransmitted}$$

Επιπροσθέτως, υπολογίσαμε το ποσοστό της απόδοσης χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο. Προκειμένου να έχουμε μία ομοιόμορφη εικόνα, δεν εισάγουμε τις γραμμές όπως αυτές που δίνονται στην MATLAB. Σχεδιάζουμε μία καμπύλη παρεμβολής στα αντίστοιχα σημεία. Ο στόχος της απόδοσης είναι 100%. Ο χαμηλός χρόνος μετάδοσης και ο υψηλός ρυθμός χρήσης πόρων μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση.

$$\text{Throughput}(\%) = \frac{\text{Simulated Throughput}}{\text{Max Possible Throughput}}$$

Στην δική μας προσομοίωση, χρησιμοποιήσαμε μονούς τόνους (single tones) οι οποίοι υποστηρίζουν δύο αριθμολογίες των 15kHz και των 3.75kHz. Το One Resource Unit (RU) είναι μία προγραμματιζόμενη μονάδα στην μετάδοση του NPUSCH για τα δεδομένα η οποία αποτελείται από 15kHz: 1 ms για 12 τόνους, 2 ms για 6 τόνους, 4 ms για 3 τόνους, 8 ms για ένα τόνο ή 32 ms για έναν τόνο των 3.75kHz. Η αριθμολογία των 15kHz είναι πανομοιότυπη με το LTE και έτσι επιτυγχάνεται η καλύτερη απόδοση συνύπαρξης με το LTE στο uplink. Διαφορετικά επίπεδα MCS επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Το χαμηλό MCS και η υψηλή ισχύς βελτιώνουν τη μεταδιδόμενη αξιοπιστία, ενισχύουν την κάλυψη αλλά μειώνουν την απόδοση του συστήματος. Μεγαλύτερος αριθμός επαναλήψεων ενισχύει την αξιοπιστία αλλά μειώνει την απόδοση. Επιπλέον, παρουσιάζουμε μία διαδικασία προσαρμογής εσωτερικού συνδέσμου βρόχου που εστιάζει στην προσαρμογή του αριθμού επανάληψης με βάση την περιοδικά μετρημένη μετάδοση BLER. Ο σκοπός αυτού του βρόχου είναι προκειμένου να εγγραφεί την σωστή μετάδοση BLER στον στόχο. Η επανάληψη είναι η βασική λύση που υιοθέτησε το NB-IoT για την επίτευξη βελτιωμένης κάλυψης με χαμηλή πολυπλοκότητα. Επιπλέον, για μία πλήρη μετάδοση, η επανάληψη της μετάδοσης θα πρέπει να εφαρμόζεται τόσο στην μετάδοση δεδομένων όσο και σχετική μετάδοση σηματοδότης ελέγχου. Οι πληροφορίες ελέγχου, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού RU, του επιλεγμένου MCS και της επανάληψης, πρέπει πρώτα να μεταδίδονται μέσω ενός NPDCCH. Συγκεκριμένα, η επανάληψη για το NB-IoT μπορεί να επιλεγεί μόνο μεταξύ 1,2,4,8,16,32,64,128. Ο αριθμός αυτός δείχνει τον αριθμό επανάληψης στο ίδιο μπλοκ μετάδοσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε βασικές παραμέτρους που χρησιμοποιήσαμε για την προσομοίωση μας. Προκειμένου να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά το ποσοστό της απόδοσης, χρησιμοποιήσαμε 20 μπλοκ μεταφοράς (numTrBlks). Ο αριθμός αυτός μπορεί να ικανοποιήσει τις δυνατότητες του υπολογιστή που χρησιμοποιήσαμε προκειμένου να εκτελέσουμε την προσομοίωση μας. Χρησιμοποιήσαμε επίσης ένα εύρος SNR τιμών (SNRdB). Συγκεκριμένα:

Πίνακας 10: Βασικοί παράμετροι προσομοίωσης BLER

numTrBlks	30
SNRdB	[-23 -17 -14 -11.3 -8 -3.4 1.5 4.8]
simReps	[16 64 128]
NBULSubcarrierSpacing	'15kHz'
NPUSCHFormat	'Data'
Modulation	QPSK
NLayers	1
NRU	1
System bandwidth	180 kHz

Number of tones	1
Channel model	AWGN

7.4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ NB-IoT NPUSCH BLER

Για να εκτελέσουμε την προσομοίωση μας και να πάρουμε τα αποτελέσματα BLER για τα επίπεδα επανάληψης που ορίσαμε παραπάνω, ακολουθήσαμε τα παρακάτω βήματα:

- Για το NPUSCH μορφής 1 μετάδοσης για uplink μεταφοράς δεδομένων:
 - Δημιουργούμε μία τυχαία ροή bit με το μέγεθος του επιθυμητού μπλοκ μεταφοράς.
 - Εκτελούμε κωδικοποίηση CRC, κωδικοποίηση turbo και αντιστοίχιση ρυθμού για να δημιουργήσουμε τα bit NPUSCH.
 - Αφήνουμε τα bits ανά RU προκειμένου να εφαρμόσουμε μία πρώτη χαρτογράφηση και να δημιουργήσουμε τον NPUSCH κωδικό.
- Για την μορφή NPUSCH 2 που χρησιμοποιείται για τη σηματοδότηση HARQ feedback για το NPDSCH:
 - Εκτελούμε επανάληψη bit της HARQ ένδειξης με σκοπό να δημιουργήσουμε τον NPUSCH κωδικό.
- Και στην συνέχεια για οποιαδήποτε μορφή NPUSCH:
 - Εκτελούμε ανακατασκευή, διαμόρφωση, χαρτογράφηση επιπέδων και κωδικοποίηση προκειμένου να σχηματίσουμε τα σύνθετα σύμβολα NPUSCH.
 - Αντιστοιχίζουμε τα σύμβολα NPUSCH και το αντίστοιχο DRS στο πλέγμα πόρων.
 - Δημιουργούμε την κυματομορφή τομέα-χρόνου εκτελώντας διαμόρφωση SC-FDMA του πλέγματος πόρων.
 - Περνάμε την κυματομορφή μέσω ενός καναλιού εξασθένισης με AWGN.
 - Εξάγουμε τα NPUSCH σύμβολα.
 - Ανακτούμε το μπλοκ μεταφοράς αποδιαμορφώνοντας τα σύμβολα και αποκωδικοποιώντας το κανάλι από τις εκτιμήσεις bit που έχουν προκύψει.

Αξίζει να σημειώσουμε πως ο ρυθμός σφάλματος BLER υπολογίζεται για κάθε σημείο SNR και η αξιολόγηση του ποσοστού σφάλματος Throughput βασίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα slots σε ένα πακέτο χρησιμοποιούνται για την αποκωδικοποίηση της μεταφοράς.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η MATLAB μας έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Δημιουργία 960 slots για 20 μπλοκ μεταφοράς για το εύρος SNR τιμών=[-23, -17, -14, -11.3, -8, -3.4, 1.5, 4.8], υπολογισμός BLER και Throughput:

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

```
Command Window
Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at -23dB SNR
NPUSCH BLER = 1.0000
NPUSCH Throughput(%) = 0.0000 %

Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at -17dB SNR
NPUSCH BLER = 0.9667
NPUSCH Throughput(%) = 3.3333 %

Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at -14dB SNR
NPUSCH BLER = 0.5000
NPUSCH Throughput(%) = 50.0000 %

Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at -11.3dB SNR
NPUSCH BLER = 0.2667
NPUSCH Throughput(%) = 73.3333 %

Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at -8dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0333
NPUSCH Throughput(%) = 96.6667 %

Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at -3.4dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at 1.5dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 960 slots corresponding to 30 transport block(s) at 4.8dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %
```

Εικόνα 36: Δημιουργία 960 slots, BLER και Throughput

Δημιουργία 3840 slots για 20 μπλοκ μεταφοράς για το εύρος SNR τιμών= [-23, -17, -14, -11.3, -8, -3.4, 1.5, 4.8], υπολογισμός BLER και Throughput:

```
Command Window
Generating 3840 slots corresponding to 30 transport block(s) at -17dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0667
NPUSCH Throughput(%) = 93.3333 %

Generating 3840 slots corresponding to 30 transport block(s) at -14dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 3840 slots corresponding to 30 transport block(s) at -11.3dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 3840 slots corresponding to 30 transport block(s) at -8dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 3840 slots corresponding to 30 transport block(s) at -3.4dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 3840 slots corresponding to 30 transport block(s) at 1.5dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 3840 slots corresponding to 30 transport block(s) at 4.8dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %
```

Εικόνα 37: Δημιουργία 3840 slots, BLER και Throughput

Δημιουργία 7680 slots για 20 μπλοκ μεταφοράς για το εύρος SNR τιμών=[-23, -17, -14, -11.3, -8, -3.4, 1.5, 4.8], υπολογισμός BLER και Throughput:

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

```
Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at -23dB SNR
NPUSCH BLER = 0.5000
NPUSCH Throughput(%) = 50.0000 %

Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at -17dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0333
NPUSCH Throughput(%) = 96.6667 %

Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at -14dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0333
NPUSCH Throughput(%) = 96.6667 %

Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at -11.3dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at -8dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

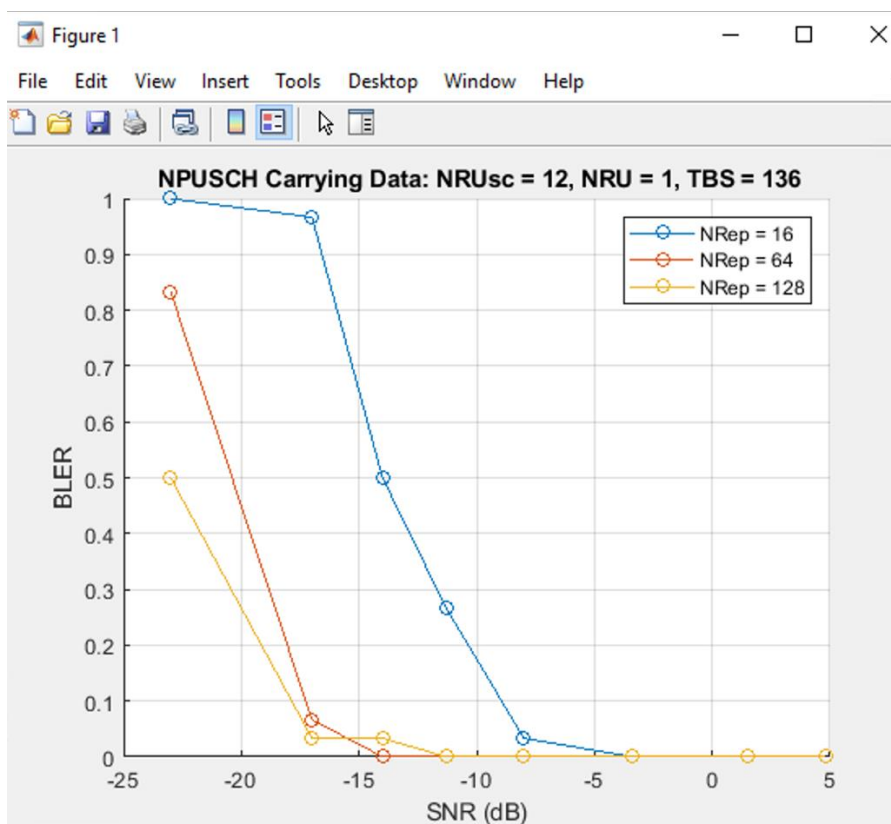
Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at -3.4dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at 1.5dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %

Generating 7680 slots corresponding to 30 transport block(s) at 4.8dB SNR
NPUSCH BLER = 0.0000
NPUSCH Throughput(%) = 100.0000 %
```

Εικόνα 38: Δημιουργία 7680 slots, BLER και Throughput

Τέλος, στο παρακάτω διάγραμμα το NPUSCH Carrying Data όταν NRUs=12, NRU=1, TBS=136 για ρυθμό επαναλήψεων 16, 64 και 128 :



Εικόνα 39: NPUSCH Carrying Data

Στο παραπάνω γράφημα βλέπουμε την σχέση μεταξύ του BLER και του SNR με διαφορετικές ρυθμίσεις προσομίωσης για NPUSCH μονού τόνου. Τα αποτελέσματά μας

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

δείχνουν ότι όταν χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων, μπορούμε να αποκωδικοποιήσουμε πιο σωστά το μήνυμα με χειρότερες συνθήκες καναλιού. Αξίζει να σημειώσουμε πως ένα μήνυμα μπορεί να μεταδοθεί επιτυχώς με χειρότερες συνθήκες καναλιού αν χρησιμοποιήσουμε μεγάλο αριθμό RU. Οι συνθήκες αυτές μπορούν να επηρεαστούν ανάλογα με την επιλογή του επιπέδου διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και με τον αριθμό επαναλήψεων. Ακόμη, διαφορετικά επίπεδα MCS επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Το χαμηλό MCS και η υψηλή ισχύς βελτιώνουν τη μεταδιδόμενη αξιοπιστία, ενισχύουν την κάλυψη αλλά μειώνουν την απόδοση του συστήματος. Έτσι περισσότερες επαναλήψεις βελτιώνουν την αξιοπιστία μετάδοσης αλλά έχουμε απώλειες στην συνολική απόδοση. Έτσι, πρέπει να υπάρχει σωστή ισοστάθμιση μεταξύ της της αξιοπιστίας μετάδοσης και της απόδοσης του συστήματος επιλέγοντας κατάλληλες επαναλήψεις και MCS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΕΠΙΛΟΓΟΣ

8.1 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι γεγονός πως το IoT καθημερινά έχει την τάση να εγκατασταθεί ριζικά στην καθημερινή μας ζωή όλο και περισσότερο. Είναι πασιφανές πως με τους γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης της τεχνολογίας, οι συσκευές IoT θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην ζωή μας και θα εισέλθουν σε αυτή και σε κάθε πτυχής της. Η δυνατότητα διασύνδεσης των διαφόρων συσκευών που βρίσκονται είτε σε μικρές είτε σε μεγαλύτερες αποστάσεις, όπως εκτενώς είδαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται αντιληπτό πως το πλήθος των εφαρμογών που θα υπάρξουν μπορεί να ποικίλουν. Με πιο απλά και κατανοητά λόγια, θα έχει μεγάλο ενδιαφέρον για το άμεσο μέλλον και αποτελεί ένα από τα πιο μείζον ζητήματα της επιστήμης αλλά και της τεχνολογίας. Η τεχνολογία που πρόκειται να απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό είναι το NB-IoT μιας και καλύπτει μεγάλη απόσταση μικρής κατανάλωσης. Ένας από τους λόγους που το NB-IoT το οποίο ανήκει στην 3GPP πρόκειται να γνωρίσει μεγάλη άνθηση είναι όχι μόνο λόγο του χαμηλού κόστους αλλά κυρίως καθώς πρόκειται να ενσωματωθεί στο ερχόμενο 5G. Τα 5G υπόσχονται να αλλάξουν τον τρόπο που επικοινωνούσαμε και αλληλοεπιδρούσαμε μέχρι σήμερα με την τεχνολογία, όπως έκανε και το 4G με τον ερχομό του, καθώς πρόκειται να φέρει μεγαλύτερη ταχύτητα, αξιοπιστία κ.λπ.

Έχοντας όλα τα παραπάνω στο μυαλό, πως δηλαδή η σημασία του IoT είναι τεράστια, μελετήσαμε εις βάθος μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει, και θα πρέπει να ξεπεραστεί με επιτυχία, αυτή της κατανάλωσης ενέργειας στις τελικές συσκευές. Αρχικά, μετά από μία ιστορική αναδρομή για την πλήρη και βαθύτερη κατανόηση του IoT και της πορείας εξέλιξης του, αναλύσαμε τα χαρακτηριστικά του, την αρχιτεκτονική του και δώσαμε παραδείγματα της σημερινής του χρήσης σε πολλαπλά επίπεδα, όπως σε κοινωνικό, οικολογικό και τεχνολογικό επίπεδο. Επίσης, αναφερθήκαμε τόσο στις μελλοντικές προκλήσεις όσο και στις εξελίξεις. Στη συνέχεια, επικεντρωθήκαμε στην μελέτη μίας νέας τεχνολογίας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό στο μέλλον, η οποία είναι η NB-IoT. Αναλύσαμε τα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας, προχωρήσαμε στην σύγκριση αυτής με άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες που υπάρχουν στην βιβλιογραφία, παρουσιάσαμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της και δώσαμε παραδείγματα της εφαρμογής της στο σήμερα. Τέλος, προχωρήσαμε σε αναλυτικά παραδείγματα εξομοίωσης προκειμένου να δούμε και στην πράξη όλα αυτά που παρουσιάσαμε σε θεωρητικό επίπεδο. Η εξομοίωση αυτή έγινε με τον εξομοιωτή της MATLAB και συγκεκριμένα με την βοήθεια του LTE Toolbox. Οι δυνατότητες του εξομοιωτή αυτού θα αποτελέσουν γερό και βασικό θεμέλιο για πιο λεπτομερή και εκτενή μελέτη αλγορίθμων και μηχανισμών δικτύων IoT που βασίζονται σε NB-IoT σε μεταγενέστερο χρόνο.

8.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

8.2.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ

Η αποτελεσματικότητα των πόρων των NB-IoT δικτύων για επίτευξη μαζικών συνδέσεων μέσω κινητών δικτύων επόμενης γενιάς είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Στην βιβλιογραφία, τα άρθρα θεωρούν την κατανομή μονού τόνου για την απλότητα στην προσομοίωση. Επομένως, η κατανομή πολλαπλών τόνων δεν έχει μελετηθεί ακόμη. Επομένως, αυτό προκαλεί ένα κενό γνώσης στην αποτελεσματικότητα διαφορετικών δυνατοτήτων κατανομής τόνου. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως θα πρέπει να προταθούν βέλτιστες τεχνικές χρήσης πόρων που περιλαμβάνουν επανάληψη, Παπαδημητρίου Ηλιάνα – AM:6170

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

κινητικότητα, κατανομή τόνων κ.λπ. προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική χρήση φάσματος.

8.2.2 ΜΕΤΡΙΑΣΜΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ

Η πρόβλεψη παρεμβολών, η εκτίμηση, η ακύρωση και ο συντονισμός είναι τεχνικές για το NB-IoT οι οποίες γίνονται πρόκληση για τους πόρους φάσματος μεταξύ του NB-IoT και του LTE. Το NB-IoT αναπτύσσεται σε σενάρια μικρών κυψελών ή μακροκυττάρων σε ετερογενή δίκτυα. Αυτό κάνει την παρέμβαση ανησυχητική. Αρκετά έργα έχουν προσπαθήσει να το αντιμετωπίσουν με τη χρήση πόρων, τον έλεγχο ισχύος ή καλύτερο uplink και downlink σχήμα προγραμματισμού, καλύτερη συχνότητα και καλύτερο συγχρονισμό. Παρόλα αυτά αποτελεί ακόμη πρόκληση να εισαχθούν χαρακτηριστικά του NB-IoT όπως η επανάληψη, η μικρή πολυπλοκότητα (η οποία επηρεάζει την ποιότητα εκτίμησης καναλιού) και η κινητικότητα στην ανάπτυξη των ήδη υπάρχουσών τεχνικών διαχείρισης παρεμβολών LTE.

8.2.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Τα περισσότερα από τα έργα προσομοίωσης έχουν αγνοήσει τον αντίκτυπο στην κινητικότητα του μοντέλου καναλιών NB-IoT. Η αύξηση της κινητικότητας των NB-IoT UE κάνει το κανάλι να υποφέρει από ταχύτερες μεταβαλλόμενες συνθήκες καναλιού, λόγω των οποίων πρέπει να εφαρμοστούν προσαρμοστικά σχήματα μετάδοσης που ενδέχεται να περιλαμβάνουν εκτίμηση καναλιών, διόρθωση σφαλμάτων κ.λπ.

8.2.4 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ

Η ανοχή λανθάνουσας θέσης NB-IoT ορίζεται στα 10 ms. Αυτό οφείλεται στην υποστήριξη του για περιπτώσεις χρήσης UE που βρίσκονται σε περιβάλλοντα με κακές συνθήκες καναλιού. Αρχικές απαιτήσεις απόκτησης κυψελών, συχνότητας και χρονισμού, μετάδοση RACH, τρόπος μετάδοσης με διπλή όψη και πολλές επαναλήψεις που εκτελούνται κατά τη μετάδοση είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που παίζουν σημαντικό ρόλο στη συνολική καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων. Αρκετές εργασίες προσπαθούν να μειώσουν την απαίτηση χρονισμού έτσι ώστε να μειωθεί ο λανθάνων χρόνος μετάδοσης των συσκευών. Ωστόσο, τα περισσότερα από τα έργα δεν έχουν αντιμετωπίσει την καθυστέρηση λαμβάνοντας υπόψη τη μαζική συμφόρηση που αναμένεται για τα δίκτυα IoT, την επεξεργασία καθυστερήσεων στην ουρά, καθυστερήσεις διάδοσης ειδικά με λειτουργία μεγάλου εύρους καθώς και σφάλματα και αποκατάσταση σφαλμάτων. Τα πρώιμα σχήματα μετάδοσης δεδομένων και η δεύτερη διαδικασία NB-IoT HARQ για συσκευές που έχουν καλές συνθήκες καναλιού είναι μεταξύ των χαρακτηριστικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση του λανθάνοντος χρόνου μετάδοσης και τη βελτίωση της απόδοσης της σύνδεσης μετάδοσης. Ωστόσο, μόνο λίγα ερευνητικά άρθρα έχουν συζητήσει την αποτελεσματικότητα αυτών των διαδικασιών όταν εφαρμόζονται στο NB-IoT.

8.2.5 ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Τα PSM και eDRX παρουσιάστηκαν στο NB-IoT Release 12 και 13 με σκοπό να επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών NB-IoT. Επιπρόσθετα, οι πιο πρόσφατες ενημερώσεις απαιτούν από το UE να μπορεί να μεταδίδει κατά τη διάρκεια λειτουργίας RRC προκειμένου να μπορεί να μειωθεί ο απαιτούμενος ON χρόνος για τη μετάδοση δεδομένων. Ωστόσο, οι συσκευές που αντιμετωπίζουν κακές συνθήκες καναλιού λόγω δυσπρόσιτων περιοχών θα πρέπει να εκτελούν αρκετές αναμεταδόσεις ανά περίοδο λειτουργίας, γεγονός που θα εξαντλήσει την ενέργεια της συσκευής και

συνεπώς θα μειώσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ομοίως, οι συσκευές που απαιτούν σχετικά μεγάλο αριθμό συνεδριών αναφοράς σε καθημερινό επίπεδο θα καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια, γεγονός που καθιστά τη διαχείριση ενέργειας ανησυχητική. Οι περισσότεροι από τους προτεινόμενους αλγόριθμους καταναλώνουν ενέργεια επειδή το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος καταναλώνεται κατά τη μετάδοση και λήψη. Επομένως, θα πρέπει να εισαχθούν εναλλακτικές λύσεις συλλογής ενέργειας όπως ηλιακή ενέργεια, βιοαέριο, δονήσεις κ.λπ. που θα επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής NB-IoT για να συμπληρώσουν ή και να αντικαταστήσουν τη συχνή φόρτιση της μπαταρίας.

8.2.6 ΧΡΟΝΟΣ

Όταν ο σταθμός βάσης ανταποκρίνεται σε NB-IoT UE σχετικά με ένα αίτημα σύνδεσης RRC, ενσωματώνει την εντολή TA που θα χρησιμοποιηθεί για το χρονικό διάστημα μετάδοσης ζεύξης NB-IoT UE τερματικού (δηλαδή για τον συγχρονισμό των UE στο σταθμό βάσης και για βοήθεια στην αντιστάθμιση στις καθυστερήσεις διάδοσης). Ωστόσο, για το NB-IoT UE, η ακρίβεια TA της προειδοποιημένης προόδου χρονισμού σε σχέση με την προηγούμενη μετάδοση ζεύξης μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τον τεράστιο αριθμό συσκευών NB-IoT που αμφισβητούν την πρόσβαση. Αυτό συμβαίνει επειδή ο σταθμός βάσης μπορεί να χρειαστεί να διορθώσει να διορθώσει κάποιο χρονισμό UE ενώ για άλλα NB-IoT UE που έχουν ήδη μεταδώσει το NPRACH θα μπορούσαν να λάβουν την απόκριση τυχαίας πρόσβασης που δεν προορίζεται για αυτούς. Ορισμένες εργασίες έχουν ασχοληθεί με τους αλγόριθμους δέκτη για την εκτίμηση NPRACH TA, καθώς και σχήματα αποκωδικοποίησης προσαρμογής χρονισμού ανίχνευσης για τη βελτίωση της εκτίμησης, αλλά η ευαισθησία του δέκτη NB-IoT και η αδύναμη ποιότητα εκτίμησης καναλιών εξακολουθούν να επηρεάζουν αρνητικά την προσαρμογή TA.

8.2.7 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Όταν αναφερόμαστε στην εξοικονόμηση ενέργειας δεν εννοούμε μόνο το υλικό των συσκευών αλλά και την ίδια την μπαταρία. Αυτό επιβάλλει την ανάγκη να σχεδιαστούν κατάλληλοι αλγόριθμοι αλλά και μηχανισμοί. Ένας τομέας που υπόσχεται να δώσει μία δραστική λύση στο πρόβλημα αυτό είναι αυτός της μηχανικής μάθησης μέσω του τεράστιου όγκου δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές IoT. Ως παράδειγμα μπορούμε να πάρουμε την βαθιά μηχανική μάθηση η οποία υπόσχεται καθοριστικό έλεγχο του δικτύου. Για να γίνουμε πιο κατανοητοί, αρκεί να σκεφτούμε πως μπορεί να γίνει χρήση των τεχνικών αυτών προκειμένου να πετύχουμε την βελτιστοποίηση και την κατανομή δεδομένων σε ένα δίκτυο radio.

Με τον όρο βελτιστοποίηση δικτύου εννοούμε την σωστή διαχείριση της ενέργειας και των διαφόρων πόρων που υπάρχουν προκειμένου να πετύχουμε αύξηση της απόδοσης. Σε αυτό έχει συμβάλει η διαχείριση της ζήτησης δεδομένων από τους χρήστες και ταυτόχρονα την χρήση της σύνδεσης σε δίκτυα τα οποία είναι ασύρματα. Με αυτόν τον τρόπο και με την βοήθεια της βαθιάς μάθησης θα είναι αρκετά εύκολο να γίνει πρόβλεψη ποια σύνδεση δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί αρκετά έτσι ώστε να διακοπεί. Επιπροσθέτως, τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται εκτενώς προκειμένου να βρεθεί το βέλτιστο μονοπάτι. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί πως σε ένα δίκτυο μπορεί να βρεθεί με μεγάλη ακρίβεια το βέλτιστο μονοπάτι με μειωμένη καθυστέρηση. Ακόμη, στην διαθέσιμη βιβλιογραφία, έχει χρησιμοποιηθεί μηχανική μάθηση προκειμένου να ανοίγουν και να κλείνουν δυναμικά κάποιοι σταθμοί λήψης μιας συγκεκριμένης περιοχής προκειμένου να πετύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Presher, Al. How Wi-Fi 6 and 5G will transform factory automation. *DesignNews*. [Ηλεκτρονικό] 04 December 2019. <https://www.designnews.com/automation-motion-control/how-wi-fi-6-and-5g-will-transform-factory-automation/9797234161962>.
2. AB, Ericsson. Cellular networks for Massive IoT. [Ηλεκτρονικό] January 2016. [Παραπομπή: 04 April 2017.] https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp_iot.pdf.
3. Πικριδάς, Αναστάσιος Ν. *Internet of Things με το πρωτόκολλο XMPP*. Αθήνα : s.n., 2018.
4. Rigling, Justin. Five reasons to use a Bluetooth Low Energy module in your next design. *Rigado*. [Ηλεκτρονικό] 20 August 2015. <https://www.rigado.com/5-reasons-use-bluetooth-low-energy-module-next-design/>.
5. Γεώργιος, Παπαγρίβας Ελευθέριος & Φραγκουλάκης. *To Internet των πραγμάτων – Internet of Things*. Αντίρριο : s.n., 2016.
6. What Is The Difference Between IoT And M2M. *cloudmantra*. [Ηλεκτρονικό] 30 January 2020. <https://www.cloudmantra.net/blog/what-is-the-difference-between-iot-and-m2m/>.
7. *International journal of engineering science and computing*. Patel, Keyur K., and Sunil M. Patel. 5, 2016, Τόμ. 6.
8. Jabraeil Jamali M.A., Bahrami B., Heidari A., Allahverdizadeh P., Norouzi F. IoT Architecture. *Towards the Internet of Things*. s.l. : EAI/Springer Innovations in Communication and Computing, Springer, Cham, 2020.
9. Vermesan, Ovidiu and Friess, Peter and others. *Internet of things-from research and innovation to market deployment*. s.l. : River publishers Aalborg, 2014. Τόμ. 29.
10. *Next generation Internet of Things: Distributed intelligence at the edge and human machine-to-machine cooperation*. Vermesan O, Bacquet J, editors. s.l. : River Publishers, 2019.
11. *Enabling technologies*. Merino, Pedro, Laura Panizo, Álvaro Martín, Álvaro Ríos, Bárbara Valera, Almudena Díaz, Delia Rico, Iván González, and Janie Baños. 1, 2013, Journal, Volume, Τόμ. 16.
12. *Narrow Band Internet of Things*. M. Chen, Y. Miao, Y. Hao and K. Hwang. s.l. : IEEE Access, 2017, Τόμ. 5, σσ. 20557-20577.
13. Staff, MH&L. Top 10 Emerging IoT Technologies You Need to Know. *Material Handling and Logistics* . [Ηλεκτρονικό] 15 April 2016. <https://www.mhlnews.com/technology-automation/article/22051554/top-10-emerging-iot-technologies-you-need-to-know>.
14. *The IoT for Smart Sustainable Cities of the Future: An Analytical Framework for Sensor-Based Big Data Applications for Environmental Sustainability*. Simon, Bibri. December 2017, Sustainable Cities and Society, Τόμ. 38.
15. *Future and Challenges of Internet of Things*. Jindal, Falguni and Jamar, Rishabh and Churi, Prathamesh and Joy, Jose. April 2018, International Journal of Computer Science and Information Technology, Τόμ. 10, σσ. 13 - 25}.
16. *Low power wide area networks (lpwans) for internet of things (iot) applications: Research challenges and*

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

future trends. Boulogeorgos, Alexandros-Apostolos A., Panagiotis D. Diamantoulakis, and George K. Karagiannidis. 2016, arXiv preprint arXiv:1611.07449.

17. *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. Gubbi, Jayavardhana and Buyya, Rajkumar and Marusic, Slaven and Palaniswami, Marimuthu. s.l. : Elsevier, 2013, Future generation computer systems, Τόμ. 29, σσ. 1645--1660.

18. Costa, Bruno Alexandre Duarte Santos. IoT network: design and implementation. 2018.

19. *Narrowband internet of things whitepaper*. Schlien, J and Raddino, D. 2016, White Paper, Rohde\&Schwarz, σσ. 1--42.

20. *Narrow Band Internet of Things*. Chen, Min and Miao, Yiming and Hao, Yixue and Hwang, Kai. September 2017, IEEE Access, Τόμ. PP, σσ. 1-1.

21. *An Empirical NB-IoT Power Consumption Model for Battery Lifetime Estimation*. M. Lauridsen, R. Krigslund, M. Rohr and G. Madueno. 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), s.l. : IEEE, 2018, σσ. 1-5.

22. *Narrowband Internet of Things: Evolutions, Technologies, and Open Issues*. J. Xu, J. Yao, L. Wang, Z. Ming, K. Wu and L. Chen. 3, s.l. : IEEE, 2018, IEEE Internet of Things Journal, Τόμ. 5, σσ. 1449-1462.

23. Louis. Compare Lora and NB-IoT -Which IoT technology is right for you. *SMART FACTORY*. [Ηλεκτρονικό] 14 December 2019.
<https://translate.google.com/translate?hl=en&sl=vi&u=https://smartfactoryvn.com/technology/internet-of-things/so-sanh-lora-va-nb-iot-cong-nghe-iot-nao-phu-hop-cho-ban/&prev=search>.

24. *Narrow Band Internet of Things*. M. Chen, Y. Miao, Y. Hao and K. Hwang. 2017, IEEE Access, Τόμ. 5, σσ. 20557-20577.

25. *Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives*. Mwakwata, Collins Burton and Malik, Hassan and Mahtab Alam, Muhammad and Le Moullec, Yannick and Parand, Sven and Mumtaz, Shahid. 11, s.l. : Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019, Sensors, Τόμ. 19, σ. 2613.

26. Ray, Brian. 5 Top Business Benefits of Narrowband IoT. *Link Labs*. [Ηλεκτρονικό] 06 April 2017.
<https://www.link-labs.com/blog/5-top-business-benefits-of-narrowband-iot>.

27. Matten, Lyn. NB-IoT: Pros and Cons of the new LPWA Radio Technology. *SlideShare*. [Ηλεκτρονικό] 17 October 2017. https://www.slideshare.net/M2M_Alliance/nbiot-pros-and-cons-of-the-new-lpwa-radio-technology.

28. *A comparative survey of LPWA networking*. Finnegan, Joseph and Brown, Stephen. 2018, arXiv preprint arXiv:1802.04222.

29. *Low-Power Wide-Area Networks: Design Goals, Architecture, Suitability to Use Cases and Research Challenges*. B. Buurman, J. Kamruzzaman, G. Karmakar and S. Islam. 2020, IEEE Access, Τόμ. 8, σσ. 17179-17220.

30. *A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT*. Sinha, Rashmi Sharan and Wei, Yiqiao and Hwang, Seung-Hoon. s.l. : Elsevier, 2017, Ict Express, Τόμ. 3, σσ. 14--21.

31. Huawei. *NB-IoT - Enabling New Business Opportunities*. [Ηλεκτρονικό] Huawei.

Παπαδημητρίου Ηλιάννα – AM:6170

Βελτιστοποίηση απόδοσης με χρήση εξομοίωσης δικτύων Internet of Things βασισμένα σε τεχνολογία NB-IoT.

<https://www.huawei.com/minisite/4-5g/img/NB-IOT.pdf>.

32. Masek, Pavel and Stusek, Martin and Zeman, Krystof and Hosek, Jiri and Mikhaylov, Konstantin and Andreev, Sergey and Koucheryavy, Yevgeni and Zeman, Otto and Votapek, Jakub and Roubicek, Martin. Tailoring NB-IoT for Mass Market Applications: A Mobile Operator's Perspective. *2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. s.l. : IEEE, 2018.

33. Schatz, Glenn. An NB-IoT Architecture Breakdown For IoT Architects. *Link Labs*. [Ηλεκτρονικό] 12 September 2018. <https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-architecture>.

34. Schatz, Glenn. An NB-IoT Architecture Breakdown For IoT Architects. *Link Labs*. [Ηλεκτρονικό] 12 September 2018. <https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-architecture>.

35. Smouter, Freek. How LTE-M and NB-IoT Coverage Gets Rolled Out. *Nordic Semiconductor*. [Ηλεκτρονικό] 12 February 2020. <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/how-lte-m-and-nb-iot-coverage-gets-rolled-out>.

36. *Narrowband Internet of Things: simulation and modeling*. {Miao, Yiming and Li, Wei and Tian, Daxin and Hossain, M Shamim and Alhamid, Mohammed F. 4, s.l. : IEEE, 2017, IEEE Internet of Things Journal, Τόμ. 5, σσ. 2304--2314.

37. *LoRaWan: vulnerability analysis and practical exploitation*. Yang, Xueying. 2017, Delft University of Technology. Master of Science.

38. PANAGIOT, BELEZONI. *[NB-IOT AND LINK ADAPTATION]*. PIRAEUS : s.n.

39. *Performance Evaluation of NB-IOT Coverage*. Ansuman Adhikary, Xingqin Lin, Y.-P. Eric Wang. s.l. : IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 2016.

40. Eric Wang, Xingqin Lin, Ansuman Adhikary, Asbjorn Grovlen, Yutao Sui, Yufei Blankenship, Johan Bergman, Hazhir S. Razaghi. A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things. *EEE Communications Magazine*. 2017, Τόμ. 55, 3.

41. Ray, Brian. NB-IoT vs. LoRa vs. Sigfox. *Link Labs*. [Ηλεκτρονικό] 25 June 2018. <https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox>.